



**FARKLI HIZLANDIRILMIŞ SOĞUTMA
PARAMETRELERİ UYGULANMIŞ
PROFİLLERDE KALINTI GERİLİM
ÖLÇÜMLERİNİN İNCELENMESİ**

**2024
YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ**

Onur YAĞIZ

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI**

**FARKLI HIZLANDIRILMIŞ SOĞUTMA PARAMETRELERİ
UYGULANMIŞ PROFİLLERDE KALINTI GERİLİM ÖLÇÜMLERİNİN
İNCELENMESİ**

Onur YAĞIZ

**Tez Danışmanı
Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI**

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
OCAK 2024**

Onur YAĞIZ tarafından hazırlanan “FARKLI HIZLANDIRILMIŞ SOĞUTMA PARAMETRELERİ UYGULANMIŞ PROFİLLERDE KALINTI GERİLİM ÖLÇÜMLERİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI

Tez Danışmanı, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 19/01/2024

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

Başkan : Prof. Dr. Mustafa ACARER (SÜ)

Üye : Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI (KBÜ)

Üye : Dr. Öğr. Üyesi İsmail Hakkı KARA (KBÜ)

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Doç. Dr. Zeynep ÖZCAN

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Onur YAĞIZ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FARKLI HIZLANDIRILMIŞ SOĞUTMA PARAMETRELERİ UYGULANMIŞ PROFİLLERDE KALINTI GERİLİM ÖLÇÜMLERİNİN İNCELENMESİ

Onur YAĞIZ

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Prof.Dr. Hayrettin AHLATCI

Ocak 2024, 58 sayfa

Bu çalışmada, HEA 120 ile 140 ve HEB 120 ile 140 ebatlarındaki S275JR kalite çelik profillerin “Hızlandırılmış Soğutma ve Kendi Kendini Temperleme (HS-KT)” ısıt işlemleri sonrasında kalıntı gerilim ve mekanik özelliklerinde meydana gelen değişiklikler incelenmiştir. HS-KT ısıt işlemleri, hava+su karışımını pülüverize şekilde profil yüzeyine püskürten özel tasarlanmış ve imal edilmiş sistemle gerçekleştirilmiştir. Profillere HS-KT ısıt işlemleri 8 ve 12 bar hava basıncında, 20 saniye soğutma süresi gibi parametreler uygulanmıştır. HS-KT uygulanmış ve uygulanmamış profillerin mikroyapı incelemesi optik ışık mikroskobu ile gerçekleştirilmiştir. Mekanik özellikler sertlik ölçümü ile yapılmıştır. Sertlik ölçümü 750 kg yük altında 5 mm çaplı bilya ile HB cinsinden belirlenmiştir. Kalıntı gerilimleri, web ve flanş bölgelerine yapıştırılan gerilim ölçerler (strain gage) yardımıyla kesme metodu kullanılarak ölçülmüştür.

En yüksek soğutma hızı, HEA 120 profilin web bölgesinde soğutma plakası ile malzeme arasındaki mesafenin 2 kat, hava basıncı 8 bar ve soğutma süresinin 20 saniye olduğu HS-KT işlemi ile 92°C/sn. olarak elde edilmiştir. En düşük soğutma hızında profillerin flanş bölgesinde minimum 6°C/sn. olarak tespit edilmiştir. Isıl işlemsiz malzemelerin mikroyapı Ferrit+Perlit yapısındayken, 9°C/sn.'lik bir soğuma hızına kadar yapının asiküler ferrit ve/veya poligonal ferrite dönüştüğü, 35°C/sn.'lik bir soğuma hızına kadar üst beynit ve/veya sorbit yapısının hakim olduğu, 39°C/sn.'nin üzerindeki soğuma hızlarında da alt beynit ve/veya martenzit fazının oluştuğu bulunmuştur. Isıl işlem görmemiş profillerdeki 106-120 HB aralığındaki sertlik değerinin, HEA 140 profilin web bölgesinde 46°C/sn. soğuma hızında 206 HB'ye yükseldiği tespit edilmiştir. En yüksek 92°C/sn. soğuma hızına maruz kalan HEA 120 web bölgesin -467 MPa'lık kalıntı çekme gerilmesi ölçülürken flanş bölgesinde 6°C/sn.'lik bir soğutma hızında ise 203 MPa'lık kalıntı basma gerilmesi değeri elde edilmiştir. Daha kalın kesitli olmasından dolayı HEB ebatlı profillerde hem kalıntı basma gerilmesi hem de kalıntı çekme gerilmesi daha dar aralıklarda ölçülmüştür.

Anahtar Sözcükler : H profil, kalıntı gerilim, hızlandırılmış soğutma, yapı çelikleri, kendi kendini temperleme.

Bilim Kodu : 91517

ABSTRACT

Master Thesis

INVESTIGATION OF RESIDUAL VOLTAGE MEASUREMENTS IN PROFILES APPLIED WITH DIFFERENT ACCELERATED COOLING PARAMETERS

Onur YAĞIZ

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Metallurgical and Materials Engineering

Thesis Advisor:

Prof.Dr. Hayrettin AHLATCI

January 2024, 58 pages

In this study, the changes in the residual stress and mechanical properties of S275JR quality steel profiles in sizes HEA 120-140 and HEB 120-140 after the "Accelerated Cooling and Self-Tempering (HS-KT)" heat treatment were examined. HS-KT heat treatment is carried out with a special design and manufacturing system that sprays the air + water mixture on the profile surface in powder form. Parameters such as HS-KT heat treatment were applied to the profiles at 8 and 12 bar air pressure and 20 seconds cooling time. Microstructure examination of profiles with and without HS-KT applied was carried out using optical light microscopy. Mechanical properties were determined by hardness measurement. Hardness measurement was determined at HB with a 5 mm diameter ball under a load of 750 kg. Residual stresses were measured using the shear method with the help of strain gauges installed in the web and flange regions. In the HS-KT process, where the distance between the material in the body area of the HEA

120 profile and the cooling plate is 2 times, the air pressure is 8 bars and the cooling time is 2 times, the highest cooling rate is 92°C/sec. It is 20 seconds. was obtained as. The lowest cooling rate is at least 6°C/sec in the flange region of the profiles. It was determined as. While the microstructure of materials without heat treatment is in the Ferrite+Pearlite structure, up to a cooling rate of 9°C/sec, the structure turns into acicular ferrite and/or polygonal ferrite, and the upper bainite and/or sorbite structure forms upwards. Up to a cooling rate of 35°C/s. It was found that the lower bainite and/or martensite phase was dominant at cooling rates above 39°C/s. The hardness value in the range of 106-120 HB in non-heat treated profiles is 46°C/sec in the crotch region of the HEA 140 profile. It was determined that the cooling rate increased to 206 HB. Maximum 92°C/sec. While -467 MPa residual tensile stress was measured in the HEA 120 mesh region exposed to a cooling rate, a residual compressive stress value of 203 MPa was obtained in the flange region at a cooling rate of 6°C/sec. Due to the thicker cross-section in HEB sized profiles, both residual compressive stress and residual tensile stress were measured in narrower ranges.

Key Word : H profile, residual stress, accelerated cooling, structural steels, self-tempering.

Science Code : 91517

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanma süresi boyunca gösterdiği yöntemlerden, verdiği bilgilerden ve tecrübelerinden fazlasıyla faydalandığım, bana öncülük ve rehberlik eden, tez danışmanım ve değerli hocam sayın Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI'ya en derin teşekkürlerimi sunarım. Yine aynı şekilde tez çalışmalarını süresince önüme çıkan engelleri bir bir aşmamda bana her türlü yol gösteren, yönlendirmeleriyle destek olan değerli hocam sayın Doç. Dr. Yunus TÜREN'e sevgi, saygı ve teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans tez çalışmamın temellerini oluşturan ve deneysel çalışmalarımızın birçoğunu birlikte tamamladığımız, bilgi ve birikimleri ile karşılaştığım her sorunda araştırıp, çözüme odaklı çalışmalarlarıyla bana ışık olan Dr. Aysun IŞIKGÜL'e sonsuz teşekkürlerimi sunuyorum.

Yüksek lisans eğitimim boyunca maddi ve manevi desteklerini her zaman gösteren başta değerli annem Safiye YAĞIZ'a, kıymetli babam Cemal YAĞIZ'a ve kardeşlerim olmak üzere tüm aileme sonsuz teşekkür ederim.

Ayrıca bu çalışmayı Tübitak 1005 222M441 kodlu proje ile sistemin tasarımını/üretimini desteklediği için Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'na teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xiv
BÖLÜM 1	1
HADDELEME.....	1
1.1 HADDELEME	1
1.2 SICAK VE SOĞUK HADDELEME	3
1.3 PROFİLLERİN HADDESİ.....	5
1.4 H TİPİ PROFİLLER	6
BÖLÜM 2	8
ÇELİK PROFİLLERİN HIZLI SOĞUTULMASI	8
2.1. ÇELİK LEVHALARIN HIZLANDIRILMIŞ SOĞUTMA İŞLEMİNDEKİ ISI TRANSFERİ	11
2.2 KALINTI GERİLİM	12
BÖLÜM 3	15
DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	15
3.1 PROFİLİN HAZIRLANMASI.....	15
3.2. HIZLANDIRILMIŞ SU VERME (HS-KT) ISIL İŞLEMİNİN UYGULANMASI	17
3.3. KALINTI GERİLİM ÖLÇÜMÜ.....	18

	<u>Sayfa</u>
3.4. MİKROYAPI KARAKTERİZASYONU	20
3.5 SERTLİK TESTİ.....	21
BÖLÜM 4	23
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	23
4.1. PROFİLLERİN SOĞUMA HIZLARI	23
4.2. MİKROYAPI ANALİZLERİ.....	34
4.3. SERTLİK.....	42
4.4. KALINTI GERİLME	45
BÖLÜM 5	53
GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	53
KAYNAKLAR	55
ÖZGEÇMİŞ	58

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Merdaneler ile haddelenme işlemine örnek	2
Şekil 1.2. H profilin haddelenmesi.....	5
Şekil 2.1. H profillere uygulanan su verme işlemi.....	8
Şekil 2.2. Hızlandırılmış soğutma ısıl işlemi uygulaması (HS-KT).	10
Şekil 3.1. H profilin 25 cm uzunluğunda kesilmesi işlemi.	16
Şekil 3.2. Kül fırını.	17
Şekil 3.3. Profil üstünde belirlenen orta noktanın zımparalanması.	18
Şekil 3.4. Yapıştırılan gerinim ölçerin üstüne epoksi yapıştırıcı uygulanması.....	19
Şekil 3.5. Profilde kesit alma yöntemi ile kalıntı gerilim ölçümü.	20
Şekil 3.6. Mikroyapı çalışması için kesilen bölgeler	20
Şekil 3.7. Zımparalama, parlatma cihazı.....	21
Şekil 3.8. Zeiss marka optik mikroskop.....	21
Şekil 3.9. Sertlik ölçümlerinde kullanılan Brinell sertlik cihazı	22
Şekil 3.10. Sertlik değerlerinin alındığı bölgelerin profil kesiti üzerinde gösterimi..	22
Şekil 4.1. HEA 120 profilin a), b), c), d), 2 kat 8 bar 20 sn soğuma grafikleri.	25
Şekil 4.2. HEA 140 profilin a), b), c), d), 2 kat 8 bar 20 sn soğuma grafikleri	27
Şekil 4.3. HEA 140 profilin a), b), c), d), 2 kat 12 bar 20 sn soğuma grafikleri.....	29
Şekil 4.4. HEB 120 profilin a), b), c), d), 2 kat 8 bar 20 sn soğuma grafikleri.....	31
Şekil 4.5. HEB 140 profilin 2 kat 8 bar 20 sn soğuma grafikleri.....	33
Şekil 4.6. Hızlandırılmış soğutma ısıl işlemi uygulanmamış HEA 120 profilin X100 ve X1000 büyütmede web, web+flanş ve flanş bölgelerindeki mikroyapı görüntüsü.	35
Şekil 4.7. HEA 120 profilin 8 bar basınçta 2 kat (120mm) mesafede 20 sn hızlandırılmış soğutma uygulanan profilin X100 ve X1000 büyütmedeki mikroyapı görüntüleri.	36
Şekil 4.8. HEA 140 profilin 8 bar basınçta 2 kat (140mm) mesafede 20 sn hızlandırılmış soğutma uygulanan profilin X100 ve X1000 büyütmedeki mikroyapı görüntüleri.	37
Şekil 4.9. HEA 140 profilin 12 bar basınçta 2 kat (140mm) mesafede 20 sn hızlandırılmış soğutma uygulanan profilin X100 ve X1000 büyütmedeki mikroyapı görüntüleri.....	38

Şekil 4.10. Hızlandırılmış soğutma ısııl işlemleri uygulanmamış HEB 120 profilin X100 ve X1000 büyütmede web, web+flanş ve flanş bölgelerindeki mikroyapı görüntüsü	39
Şekil 4.11. HEB 120 profilin 8 bar basınçta 2 kat (120mm) mesafede 20 sn hızlandırılmış soğutma uygulanan profilin X100 ve X1000 büyütmedeki mikroyapı görüntüleri	40
Şekil 4.12. HEB 140 profilin 12 bar basınçta 2 kat (140mm) mesafede 20 sn hızlandırılmış soğutma uygulanan profilin X100 ve X1000 büyütmedeki mikroyapı görüntüleri	41
Şekil 4.13. HEA120, HEA140, HEB120 ve HEB140 ebatlarındaki profillerin 2 kat mesafede uygulanan/uygulanmayan hızlandırılmış su verme işlemleri sonrası web bölgesinde oluşan sertlik değerleri	43
Şekil 4.14. HEA120, HEA140, HEB120 ve HEB140 ebatlarındaki profillerin 2 kat mesafede uygulanan/uygulanmayan hızlandırılmış su verme işlemleri sonrası web+flanş bölgesinde oluşan sertlik değerleri	44
Şekil 4.15. HEA120, HEA140, HEB120 ve HEB140 ebatlarındaki profillerin 2 kat mesafede uygulanan/uygulanmayan hızlandırılmış su verme işlemleri sonrası flanş bölgesinde oluşan sertlik değerleri	44
Şekil 4.16. HEA 120 HS-KT ısııl işlemleri uygulanmamış profilin flanş ve web bölgesinden alınan kalıntı gerilim ölçüm grafiği	46
Şekil 4.17. HEA 120 8BAR 2KAT 20SN profilin flanş ve web bölgesinden alınan kalıntı gerilim ölçüm grafiği	47
Şekil 4.18. HEA 140 8BAR 2KAT 20SN profilin flanş ve web bölgesinden alınan kalıntı gerilim ölçüm grafiği	48
Şekil 4.19. HEA 140 12BAR 2KAT 20SN profilin flanş ve web bölgesinden alınan kalıntı gerilim ölçüm grafiği	49
Şekil 4.20. HEB 120 8BAR 2KAT 20SN profilin flanş ve web bölgesinden alınan kalıntı gerilim ölçüm grafiği	50
Şekil 4.21. HEB 140 8BAR 2KAT 20SN profilin flanş ve web bölgesinden alınan kalıntı gerilim ölçüm grafiği	51
Şekil 4.22. Profillerin sırasıyla, soğuma hızı-kalıntı gerilim grafiği	52

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 3.1. Profil özellikleri	15
Çizelge 3.2. Ana malzemelerin kimyasal bileşimleri (ortalama değerler).....	16
Çizelge 3.3. Isıl işlem parametreleri	18
Çizelge 4.1. HEA120, HEA140, HEB120 ve HEB140 sertlik testi sonuçları.	43
Çizelge 4.2. Profillerin web ve flanş bölgelerindeki kalıntı gerilme sonuçları.....	52

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

C	: karbon
Mn	: mangan
Ag	: gümüş
Si	: silisyum
S	: kükürt
P	: fosfor
Cu	: bakır
Cr	: krom
Ni	: nikel
N	: azot
V	: vanadyum
h	: yükseklik
b	: genişlik
s	: web kalınlığı
t	: et kalınlığı
C _{ev}	: karbon eşdeğeri
Al	: alüminyum

KISALTMALAR

HS-KT: Hızlandırılmış Soğutma ve Kendini Temperleme

HEA : H Profile European Lightweight Wide Flange (Hafif Geniş Flanşlı Profil)

HEB : H Profile European Standard Wide Flange (Standart Geniş Flanşlı Profil)

QST : Quenching and Self-Tempering (Su Verme ve Kendi Kendini Temperleme)

EN : European Norm (Avrupa Normu)

TS : Türk Standardı

AR-GE: Araştırma Geliştirme

BÖLÜM 1

HADDELEME

1.1 HADDELEME

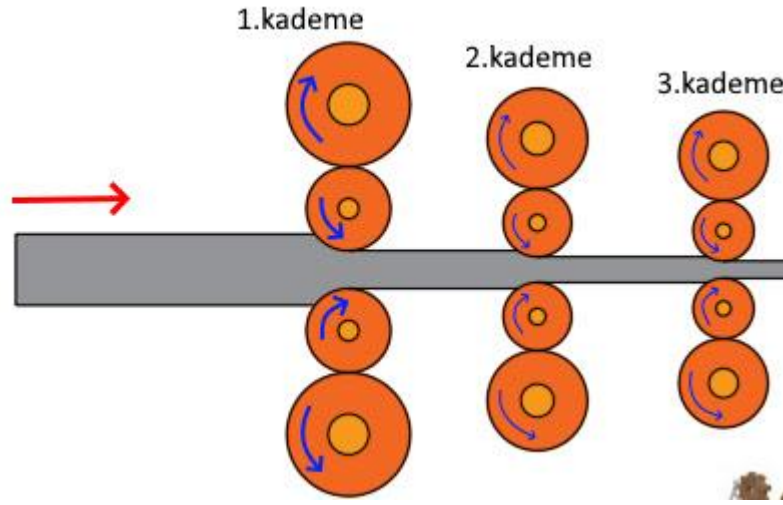
Genelde haddeleme, malzemelerin bir kalıp yardımıyla kalıcı (plastik) şekil değiştirmesine verilen isimdir. Haddeleme denilince ilk akla gelen metallerin haddelenmesi işlemleridir. Metalik malzemelerde, uzun ya da yassı hale dönüştürülmesi, hadde adı verilen kalıplarla bu metalik malzemelerin işlenmesi (haddelenmesi) ile gerçekleştirilir. Haddeleme prosesleri, metalik malzemelerin tavlandıktan sonra uygun büyüklükteki basınç kuvvetleri altında kalması esasına dayanır. Metallerde kalıcı şekil değiştirmen büyük oranda yalnızca haddeleme ile yapılmaktadır [1].

Yeniden şekillendirilecek olan metalik malzeme tavlandıktan sonra birbirine zıt yönde dönen iki veya daha çok silindirik merdane arasına sürülerek yeniden şekillendirilir. Haddelemenin temel amacı, haddelenen malzemenin ilk boyutundan daha küçük hale getirilerek sıkıştırılması yani daha sık-yoğun hale dönüştürülmesidir. [1-4].

Haddelemede kullanılmakta olan silindirik merdaneler aynı hızda ve birbirlerine ters yönde hareket etmektedirler. Tavlama işlemi tamamlanmış metalik malzemeler istenilen boyuta göre belirli pasolardan geçirilerek istenen şekli alması sağlanmış olacaktır. Malzemelerin her bir farklı merdane arasından geçmesi paso olarak adlandırılmaktadır. Haddeleme bir dolaylı basma mekanik işlemi olup, genellikle uygulanan tek kuvvet merdanelerle sağlanan radyal basınçtır [2].

Haddelenecek olan malzeme ile merdaneler sayesinde ezilecek olan ve böylece meydana gelen sürtünme sonucu haddelenmeye başlayan malzeme haddeleme boşluğuna girerek şekillenmeye başlar ve metalik malzeme böylece istenilen şekle

getirilmiş olur. Bu kalıcı şekil değişimi sonucunda malzemenin ezilmesi ile uzunluk ve genişliğin artmasının yanı sıra haddelenen malzeme yüksekliğinde azalma, yani diğer bir söylemle ezme işlemi de gerçekleşmiş olacaktır. Aşağıda bulunan Şekil 1.1'de görüleceği üzere merdaneler arasında bulunan açıklık tavllanmış olan malzemenin yüksekliğinden daha düşük boyutta olduğundan, haddeleme işlemine maruz kalan malzemenin hadde işlemi sonrasında çıkış yüksekliğinde bir azalma olduğu görülmektedir.



Şekil 1.1. Merdaneler ile haddeleme işlemine örnek.

Haddeleme işlemlerinde nihai üründe istenilen iki ana unsur vardır. Bunlar:

1. Son ürünün önceden belirlenmiş boyutlarını toleranslar içerisinde ve mümkün olan en düşük fire ile en yüksek üretim miktarının sağlanması, en düşük maliyetle kaliteli ürün eldesidir.
2. Elde edilecek olan ürünün yalnızca fiziksel veya mekaniksel özellikleriyle değil aynı zamanda da yüzey durumu ile ilgili (çiziksiz, sürekli) mümkün olan en yüksek kalitede ürünü elde etmektir.

Bu gerekli iki temel unsurun yerine getirilebilmesi ancak bütün bir iş parçasının işlem basamaklarının açıkça ve hatasız olarak belirlenmesi ile mümkündür. İstenilen geometrik şeklin haddeme ile tam olarak elde edilebilmesi için iş parçasının yüzey şartlarına, mekanik ve fiziksel özelliklerine, makro ve mikro boyuttaki yapısına bağlı olarak haddemede işleme (paso) sayısı belirlenmelidir. Metalik malzemelerin sıcak haddelenmesinin başlıca dört temel basamağı vardır:

1. Haddeme için uygun boyutlarda yarı mamulün fırın içerisine girecek şekilde kesilmesi.
2. Haddemeden önce fırın içerisinde malzemenin tavlama sıcaklığına kadar ısıtılması.
3. Tavllanmış malzemenin hazırlama tezgahından geçerek haddemenin başlaması.
4. Haddeme işlemi tamamlanan mamulün istenilen boyutta kesildikten sonra, kontrollü soğutma, doğrultma, talebe göre soğuk olarak çekilmesi, yüzey kusurlarını giderilmesi gibi işlemlerin uygulanmasıdır.

1.2 SICAK VE SOĞUK HADDELEME

Haddeme, haddenecek olan malzemenin sıcaklığıyla orantılı olarak sıcak veya soğuk haddeme olmak üzere iki farklı grupta sınıflandırılmaktadır. Eğer haddeme esnasında malzemenin sıcaklığı yeniden kristalleşme (çelikler için aralığı;400°C ila 700°C) sıcaklığının altında ise soğuk haddeme, bu sıcaklığın üstünde ise sıcak haddeme olarak tanımlanmaktadır.

Soğuk haddemede, pekleşme (gerinim sertleşmesi) ile oluşan mukavemet artışı %20 civarlarında olmaktadır. Bu sayede malzemenin yüzey dokusu daha pürüzsüz ve sıkı toleranslar arasında olacaktır. Çoğunlukla soğuk haddelenen ürünler levha, şerit, çubuk ve tellerdir. Soğuk haddelenen bu ürünler genellikle sıcak haddelenen aynı ürünlere göre daha küçük kesitlidir. Soğuk haddemede iş parçasının kalınlığı

(yüksekliği) bir pasoda sıcak haddelemeye göre daha az ezilebilir. Soğuk haddelenenin avantajları Őu Şekilde sayılabilir [5]:

1. Soğutma ve oksidasyon olmadığından, daha iyi toleranslar ve daha iyi yüzey elde edilir.
2. Daha ince cidarlı malzemeler haddelenebilir.
3. İŐlenen malzemenin hedeflenen ürün özellikleri adım adım kontrol edilebilir ve eğer istenirse, soğuk haddeleme sırasında yüksek mukavemet elde edilebilir ya da yüksek süneklilik gerekliyse tane boyutu tavlama öncesinde kontrol edilebilir.
4. Yağlama genelde kolaydır.
5. Malzemede mukavemet artışı görülür.
6. Boyut toleransı iyidir.

Soğuk haddeleme bu tez çalıŐmasının dışında kaldığından sonraki açıklamalar sıcak hadde ile ilgilidir.

Sıcak haddeleme düşük sayılarda haddeleme işlemi ile metallerin büyük oranlarda Őekillendirilmesini sağlar. Sıcak haddelenen malzemeler tavlamaya ihtiyaç duymazlar. Yüksek sıcaklık, malzemede artık gerilimin toplanmasını engeller. Sonuç olarak malzemenin kararlılığı soğuk haddelenen malzemedenden daha iyidir.

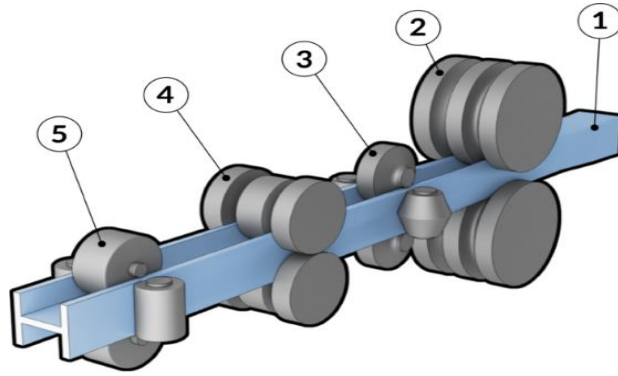
Sıcak haddelemede daha çok malzemelerin Şekli ve geometrisi yeniden iŐlenirken mekanik özelliklerinde bir deđiŐiklik söz konusu değildir. İlk olarak haddelenecek olan malzeme kritik sıcaklığının üzerine ısıtılır sonra da malzeme istenilen boyutlarda ve özellikte Őekillendirecek düzeyde bir yük uygulanır.

Sıcak haddeleme yöntemi ile kare, köŐebent, yassı, yuvarlak, çokgen, kesit, halka, köŐebent, Şerit, H, T, U, I, profiller, ray gibi mamuller üretilmektedir. Üretimin ana malzemesi olarak slab, blum, beam blank ve kütük olarak adlandırılan çeşitli yarı-mamuller kullanılmaktadır.

1.3 PROFİLLERİN HADDESİ

Geçmişten günümüze metallerin şekillendirilmesindeki en önemli yöntem metallerin haddelenmesi olmuştur. Yarı-mamülün, farklı yönlerde dönen silindirik merdanelere açılmış pasolardan geçirilmesine haddeleme işlemi denmektedir. Haddeleme esnasında meydana gelen yüksek basınç gerilmesiyle birlikte malzemede kalıcı şekil değişimi elde edilir [6].

Endüstriyel uygulamalarda, sürekli döküm ürünlerinin haddelenmesiyle üretilen profil, plaka, ray, levha, şerit, kiriş, folyo, çubuk, lama ve dikişsiz boru gibi nihai mamuller kullanılmaktadır [7].



Şekil 1.2. H profilin haddelenmesi.

Özellikle günümüz çelik yapılarında kullanılmakta olan profiller, sürekli döküm tesislerinde döküm yöntemi ile üretilen kütük, blum veya beam blanklerin sıcak haddelenmesi yöntemiyle tandem tezgahlarında üretilmektedir. Tandem tezgahları sayesinde hem yatayda hem de dikeyde profillerin haddelenmesi mümkündür. Tandem tezgahlarında istenilen boyutlara haddeleme işlemi tamamlanan profiller uç-baş kesimleri yapıldıktan sonra, boyda bulunan eğikliği düzeltmek amacıyla doğrusallık kazanması için doğrultma işlemi uygulanmaktadır. Son olarakta boy kesimleri gerçekleştirilir.

1.4 H TİPİ PROFİLLER

H-kiriş, daha optimize edilmiş kesit alanı dağılımına ve daha makul güç-ağırlık oranına sahip, ekonomik bir kesit ve yüksek verimli bir profildir. Kesiti İngilizce "H" harfiyle aynı olduğundan bu adı almıştır. H-kirişin tüm parçaları dik açılarla düzenlendiğinden, H-kiriş güçlü bükülme direnci, basit yapı, maliyet tasarrufu ve her yöne hafif yapı avantajlarına sahiptir ve yaygın olarak kullanılmaktadır.

Kesit şekli, evrensel çelik kiriş, geniş kenarlı (kenar) I-kiriş veya paralel flanşlı I-kiriş olarak da bilinen, büyük Latin harfi H'nin ekonomik kesit profiline benzer. H-kirişin kesiti genellikle iki parçadan oluşur: ağ plakası ve aynı zamanda bel ve kenar olarak da bilinen flanş plakası.

H-profil flanşının iç ve dış tarafları paralel veya neredeyse paraleldir ve flanş uçları dik açıdadır, bu nedenle paralel flanş I-kirişi olarak adlandırılır. H-kirişin ağırlığının kalınlığı, aynı ağ yüksekliğine sahip ortak I-kirişinkinden daha küçüktür ve flanş genişliği, aynı ağ yüksekliğine sahip ortak I-kirişinkinden daha büyüktür, bu nedenle geniş kenarlı I-kiriş olarak da adlandırılır. Şekli, kesit modülü, atalet momenti ve H-kirişin buna karşılık gelen mukavemeti ile belirlendiğinde, aynı tek ağırlığa sahip sıradan I-kirişten açıkça daha iyidir. Farklı gereksinimlere sahip metal yapılarda kullanıldığında ister eğilme momentine, ister basınç yüküne, ister eksantrik yüke maruz kalsın üstün performans gösterir. Sıradan I-kiriş ile karşılaştırıldığında, taşıma kapasitesini büyük ölçüde artırabilir ve metalden %10 ila %40 oranında tasarruf sağlayabilir.

H-profiller geniş flanşlar gibi birçok özelliğe ve esnek kullanım alanına sahiptir. Çeşitli kafes yapılarda kullanıldığında %15 ila %20 oranında metal tasarrufu sağlayabilirler. Flanşların iç-dış tarafları birbirlerine paralel ve kenar uçları dik açıda olduğundan, montajı ve çeşitli bileşenler halinde birleştirilmesi kolaydır; bu da kaynak ve perçinleme iş yükünün yaklaşık %25'ini azaltabilir ve bu da büyük ölçüde zamandan kazandırmaktadır. Projenin inşa hızını artırır ve inşa süresini kısaltır.

Yukarıdaki avantajlardan dolayı H-kirişler yaygın olarak kullanılmaktadır ve esas olarak aşağıdakiler için kullanılmaktadır;

1. Çeşitli sivil ve endüstriyel bina yapıları; çeşitli geniş açıklıklı endüstriyel tesisler ve modern yüksek katlı binalar.
2. Özellikle sismik aktivitenin sık olduğu ve yüksek sıcaklıktaki çalışma koşullarının olduğu bölgelerdeki endüstriyel tesisler.
3. Büyük taşıma kapasitesi, iyi kesit stabilitesi ve geniş açıklığa sahip büyük ölçekli köprüler.
4. Otoyollar, gemi iskeletleri; temel iyileştirme ve dolgu mühendisliği, çeşitli makine bileşenleri.

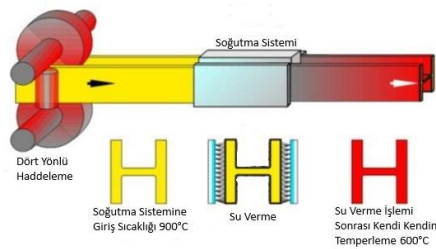
gibi sektörde büyük ölçüde kullanım alanına sahiptirler.

BÖLÜM 2

ÇELİK PROFİLLERİN HIZLI SOĞUTULMASI

Çelik profillerde hızlandırılmış soğutma, zaten ürün ve kullanıcıların rekabet gücünü arttıran standart bir süreçtir. Mekanik özelliklerin daha üniform ve profil boyunca minimum sıcaklık değerlerini sağlamak amacıyla endüstriyel koşullar altında elde edilebilen maksimum soğutma hızı 80°C/s'den (10 mm) 1°C/s (80 mm) aralığındadır. Bu sürecin ana değişkenlerinin farklı sıcaklıklardaki uygulama aralıkları: kademeli soğutma 500°C ve 800°C arasında, doğrudan su verme 200°C ve 900°C arasındadır. İlk olarak mikro yapı tane inceltmesi amaçlanır ve ikinci olarak da martenzitik mikro yapı istenmektedir.

Termomekanik haddeleme sınırlamalarının üstesinden gelmek için haddelemeden sonra kirişlerin hızlandırılmış soğutma işlemi geliştirilmiştir. Profil uygulanan QST (su verme ve kendiliğinden temperleme)'de kirişin tüm yüzeyine son haddeleme geçişinden hemen sonra yoğun bir su soğutması uygulanır. Çekirdek, söndürmeden etkilenmeden önce soğutma kesintiye uğrar ve dış katmanlar, çekirdekten yüzeye ısı akışı ile temperlenir. Şekil 2.1. bu işlem şematik olarak göstermektedir. Son işlem standının çıkışında doğrudan soğutma tümseğinin girişinde, sıcaklıklar tipik olarak 850 ° C'dir. Profilin tüm yüzeyi üzerinde soğutulduktan sonra, 600 °C'ye eşit veya daha yüksek bir öztemperleme sıcaklığı hedeflenir.



Şekil 2.1. H profillere uygulanan su verme işlemi.

Şekil 2.1’de çekirdek etkilenmeden önce soğutma kesintiye uğrar ve dış katmanlar, çekirdekten yüzeye ısı akışı ile tavllanır. Tandem haddenin çıkışında, doğrudan QST ünitesinin girişinde, malzemenin sıcaklığı tipik olarak 850°C’dir. Profilin tüm yüzeyine su verme işleminden sonra 600°C’de kendi kendine temperlemesi sağlanır [9].

S275JR ticari kalite çeliğe sahip H kesit Avrupa hafif geniş flanş (HEA) ve H kesit Avrupa standart geniş flanş (HEB) profilleri, binalar, asma köprüler, tüneller vb. inşaatlarda yaygın olarak kullanılmaktadır [9]. Literatürde suyla ilgili çalışmalar varken [8, 10] bu çalışmada uygulanan su+hava karışımı ile soğutma işlemine rastlanmamıştır.

Yüksek mukavemetli yapı çeliklerinin üretimi, yüksek teknoloji ve hassas üretim süreçleri gerektirir. Bu ürünlerin binalarda kullanılmadan önce çok sıkı bir kalite kontrol kontrolünden geçmesi de kritik bir konudur. Bu nedenle endüstri gelişmeye ve yeni yüksek kaliteli yapı bileşenleri üretmeye devam etmektedir [11, 12].

Özellikle termomekanik işlem, birbiri ile zıt olduğu düşünülen malzeme özelliklerinin bir arada sağlanmasına olanak tanımaktadır [13, 14]. Aynı zamanda bu işlemle birlikte malzemeye yüksek akma dayanımının yanı sıra yüksek tokluk da sağlanabilir ve kaynakla birleştirilebilme özelliği korunabilir. Buna dayanarak ArcelorMittal Differdange, ağır profil haddeleme hattında QST ünitesini kullanarak patentli HISTAR kalitesini pazara sunmuştur ve Liège'deki Center de Recherches Métallurgiques (CRM) ile birlikte geliştirmiştir. [15].

Bon Seung [16], sıcak haddelenmiş H profillerin su verme ve kendiliğinden temperleme işleminden sonraki eğilme davranışlarını incelemiştir. Sıcak haddeleme yerine su verme yoluyla termo-metalurjik-mekanik deformasyondan kaynaklanabilecek bükülmeye odaklanmış, H-profil imalatında sıklıkla gözlemlenen birkaç profil ön şekli, su verme simülasyonu için modellenmiştir. Hızlı ısıl işlemin ve buna bağlı faz dönüşümünün eğilme deformasyonu üzerindeki etkisini analiz etmek için zamana bağlı su verme, bir sonlu eleman programı ANSYS kullanılarak simüle edilmiştir. Su vermede, ısı değişimi ve faz geçişi sırasında açığa çıkan gizli ısı gibi

teorik yaklaşımlar bu çalışmaya dahil edilmiştir. Simülasyonun eğilme mekanizmasını keşfetmede etkili olup olmadığını doğrulamak için hesaplama sonuçları deneysel bulgularla karşılaştırılmıştır. Beklenmeyen bükülme fenomenini neyin tetiklediğini anlamak için daha fazla simülasyon analizleri de yapılmıştır [16].



Şekil 2.2. Hızlandırılmış soğutma ısıl işleme uygulaması (HS-KT).

Harman [10], yüksek lisans çalışmasında ince taneli yüksek mukavemetli düşük alaşımlı çeliği QSTE 420 TM çelik sac plakanın sahip olduğu yüksek mukavemet özelliğinin kaynaklı imalattan sonra da sürdürülebilir olması için farklı kaynak yöntemlerinde kaynaklanabilirliği araştırılmıştır. Malzeme türü, malzeme kalınlığı, seçilen kaynak yöntemi, ilave metalin kimyasal kompozisyonu ve mekanik özellikleri ve ısı girdisi söz konusu çeliğin kaynaklanabilirliğini etkileyen parametrelerdir. Bu parametrelerin en uygun şekilde belirlenmesiyle kaynak yöntem prosedürleri oluşturulmuş ve 3 grup altında sırasıyla metal aktif gaz, tungsten asal gaz, elektrik ark kaynağı (E) yönteminde alın kaynağı işlemleri yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda QSTE420TM ana malzemenin mukavemet değerleri ile referans alınarak değerlendirilmiş ve her kaynak metodunda en uygun sonuçlara sahip deneyler belirlenmiştir [17].

2.1. ÇELİK LEVHALARIN HIZLANDIRILMIŞ SOĞUTMA İŞLEMİNDEKİ ISI TRANSFERİ

Modern soğutma sistemleri kullanılarak saniye başına neredeyse 100 °C'den daha yüksek soğutma hızlarına ulaşmak çok kolay hale gelmiştir. Kesitleri ince olan plakalarda bu soğutma işlemleri çok daha kolay yapılırken kesit kalınlığı arttıkça ısı transferi zorlaşacak ve soğutma işlemi de zaman alacaktır. Belirtilen bu işlemi etkileyen iki temel bileşen plakanın kalınlığı boyunca oluşan kalıntı gerilmeler ve mikroyapı özellikleridir. Kesiti ince plakalarda kritik faktör yüzeydeki ısı transferi olmaktadır. 450 °C'nin üzerinde plakaların yüzeyinde yüksek soğuma hızına sahip olan kararlı buhar tabakası formu oluşur. 450 °C'nin altındaki sıcaklıklarda buhar tabakası kırılacak ve ısı transfer hızı artmış olacaktır. 150 °C'nin altında kaynama ortadan kalkar ve ısı transfer hızı tekrar düşer. 800-500 °C sıcaklık arasında kademeli soğutma işlemi uygulanır. Direk olarak su verme işlemi ise 200-900 °C sıcaklıklar arasında gerçekleştirilmektedir. Sonuç olarak martenzitik yapının elde edilebilmesi için plakaların soğutulmasında yeterli hıza ulaşmak gereklidir. Belirtilen şartlar gerçekleştirildiğinde soğuma hızı kolaylıkla kontrol edilebilir hale gelecektir.

Çelik plakaların %20'si bu yöntemle haddelenerek üretilmektedir. Günümüzde yalnızca 100 mm'ye kadar kalınlığa sahip çelik plakaların üretimi için hızlandırılmış soğutma yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntem ile 490 MPa'dan fazla çekme mukavemetine sahip, yüksek mukavemetli çelik plakalar elde edilebilmektedir. Bu yüzden bu plakalar ile gemi yapımı, deniz platformları, API boruları, yüksek binalar, köprüler, basınçlı borular, düşük sıcaklık tankları, kriyojenik tanklarda ve ağır iş makinelerinde kullanılır.

Küresel sektörler içerisinde yer alan birçok çelik üretim fabrikalarında bu ürünler ve teknik veri standartları kabul edilmektedir. Neredeyse 30 yılın ardından, sekteye uğramış olan endüstriyel uygulamalar sonrasında soğutma ve su verme işlem prosesleri hız kazanmıştır. Malzemelerin mekanik özellikleri ve alaşım içeriklerinin yeni oluşumları bu tür süreçlerin optimizasyonunu sağlamakta ve yüksek kaliteli çelik plakaları üretmek mümkün olabilmektedir.

2.2 KALINTI GERİLİM

Kalıntı gerilimler çeşitli üretim/imalat aşamalarından sonra parçada kalan elastik gerilimlerdir. Kaynaklı imalat, döküm, yüzey işlemleri ve ısıl işlemler sonucunda malzeme içerisinde homojen olarak dağılmadan kalan plastik deformasyonlar veya ısıl değişimler, kalıntı gerilim oluşmasındaki ana nedenlerdendir [18].

3D bir malzemede şekil değiştirme her üç farklı boyutta meydana gelmektedir. Bu yöntem ile malzemenin direncinin değişimi incelenirse ne yazık ki hangi ekseninde ne büyüklükte deformasyon olduğunu anlamak imkânsız hale gelecektir. Buna ilaveten parça boyutları ne kadar büyükse direkt ölçüm o kadar imkânsız olacaktır. Bu sebeple istenilen bir ekseninde ölçüm yapabilmek için yardımcı bir elemana ihtiyaç duyulmaktadır. Bu yardımcı elemanın adı Kalıntı Gerilim Ölçer Rozet (Strain-Gage Rozet)'tir. Bu malzeme bir doğrultuya yönlendirilmiş dairesel kesitli bir teli içeren yalıtılmış elemanlardır. Bu rozeti ölçüm yapmak istediğimiz parçanın üstüne istediğimiz doğrultuda yapıştırıp direnç değişimini ölçebiliriz ve bu yolla birim şekil değiştirmeyi hesaplayabiliriz [19].

Artık gerilmeler, nesnenin dış kuvvetlerden arındırılmış olmasına rağmen, metal bir nesne içinde kilitlenmiş gerilmelerdir. Metallerin bir bölgesinin bitişik bölgeler tarafından elastik gerilmelerin genişlemesinden, daralmasından veya serbest bırakılmasından sınırlandırılmasının bir sonucu olarak artık gerilmeler oluşmaktadır. Çekme veya basma yönünde artık gerilmeler olabilmektedir. Gerilme ve kompresyon artık gerilmeleri, bir bileşenin içinde birlikte var olurlar.

Bir bileşenin elastik limitinin ötesinde gerilmesi ve plastik deformasyon oluşması, artık gerilmeleri meydana getirir. Plastik şekil değiştirme, stres bir metalin akma dayanımı sınırını geçtiğinde meydana gelir.

Yüksek sıcaklıklardan hızla soğutulmuş parçalarda, artık gerilmeler, soğutma esnasında çelikteki ani sıcaklık değişimlerinden meydana gelmektedir. Yüksek sıcaklıklardan soğutma, genel olarak ısıl işlem ve kaynak uygulamaları sırasında olur.

Bir metalin yüksek sıcaklıklardan soğutulması anındaki sıcaklık değişimleri, termal büzülme miktarının lokal olarak değişmesine neden olur. Termal büzülme, çelik dörtgen profiller gibi metallerin yüzeylerinde ve iç yüzeylerinde oluşan farklı soğutma oranlarından ötürü düzgün olmayan gerilme eşittir. Soğutma sırasında, bir bileşenin ilk önce dış kısmı soğur ve metalin bu bölgesi büzülür ve sıcak olan iç yüzey metali sıkıştırarak gerilim oluşturur. Bileşenin iç kısmı soğudukça, metal büzülmeye çalışır, ancak önceden soğutulmuş dış kısım ile büzülme sınırlı kalmaktadır. Sonuç olarak, dış kısım artık bir sıkıştırma stresine sahip olurken iç kısımlarda ise artık bir gerilim oluşacaktır.

Faz dönüşümü, alaşımda bulunan metalurjik fazlardaki değişimler olarak tanımlanmaktadır. Örneğin, sertleşme anında çelikteki östenit fazının martenzite dönüşümü bir faz dönüşümü örneğidir.

Faz dönüşümü sırasında meydana gelen kalıntı gerilmeler, yeni şekillendirme ile ilk metalurjik fazlar arasında oluşan hacim farkından kaynaklanır. Burada oluşan hacim farkı, metalin ya genişlemesine ya da büzülmesine neden olur.

Çelikteki gibi yüksek sıcaklıktan hızlı soğutma sırasında meydana gelen faz dönüşümleri için, metalin dış kısımları önce soğur ve ilk olarak bu bölgede faz dönüşümü meydana gelir. Yeni oluşan fazın hacmi ilk fazın hacminden farklıysa, dönüştürülmüş metalin hacmide yeni faz oluştuğunda değişecektir. Metalin iç bölgesi soğudukça, hacim olarak artmaya veya azaltmaya çalışır. Bununla beraber, metal iç kısmının hacim değişikliği, daha önce dönüşmüş olan daha soğuk metal katmanı tarafından sınırlı kalacaktır.

Yeni oluşan fazın hacmi, başlangıç fazın hacminden daha büyük olduğunda, bileşenin orta kısmı, sıkıştırma altında olacak ve yüzey gerilim altında kalacaktır. Yeni fazın hacmi, başlangıç fazın hacminden az olduğunda, bileşenin orta kısmı, gerilim altında olacak ve yüzeyin içinde ve yakınında metalin kısmı, sıkıştırma altında olacaktır.

Örneğin, bir söndürme işlemi anında çeliğin sertleştirilmesi sırasında, östenit, östenitten yaklaşık %4 daha büyük bir hacme sahip olan martenzit ile martenzite

dönüşür. Su verme esnasında, yüzeydeki çelik, yüzey daha hızlı soğuyacağından ilk önce martenzite dönüşür. İç kısımda bulunan metal kısım soğumaya devam ettikçe martenzite dönüşümde devam eder. Bununla beraber, hacim genişlemesi daha derin yüzey katmanı ile sınırlandırılmıştır. Bu kısıtlama, iç kısmın baskı altında kalmasına ve dış yüzeyin gerilim altında kalmasına neden olur.

Bazı durumlarda, hacim değişiklikleri plastik deformasyona neden olacak kadar büyük artık gerilmelere neden olabilir ve bu da bileşenlerin bükülmesine veya bozulmasına neden olabilir. Şiddetli su verme ile su verme gerilmeleri çatlamaya neden olacak kadar büyük olabilir.

Artık gerilmeler, plastik deformasyon, bükülme, çekme, haddeleme ve ekstrüzyon sırasında olduğu gibi deforme olan bir ögenin kesiti boyunca üniform olmadığına da ortaya çıkar. Bir metal plastik deformasyona uğradığında, deformasyonun bir kısmı elastiktir (Çekme Testinde tartışılmıştır). Deformasyona neden olan yük kaldırıldıktan sonra, metal, deformasyonun elastik kısmını geri kazanmaya çalışır. Bununla birlikte, elastik geri kazanım eksiktir, çünkü bitişik plastik olarak deforme olmuş malzemenin karşısındadır.

Bükülmüş bir metal eşya düşünün. Bükülmeye bitişik bölgeler sadece elastik olarak deforme olmuş olacak ve bu bölge geri yaylanma olarak bilinen bir olay olan iyileşmeye çalışacaktır. Dış kuvveti kaldırdıktan sonra, bükülmüş bölgeler, bitişik bölgelerin deforme olmayan duruma tam elastik toparlanma geçirmesini önler. Bu bölgeler artık gerilme durumunda bırakılır ve plastik olarak deforme olmuş bölgeler artık sıkıştırma durumunda kalır [20].

BÖLÜM 3

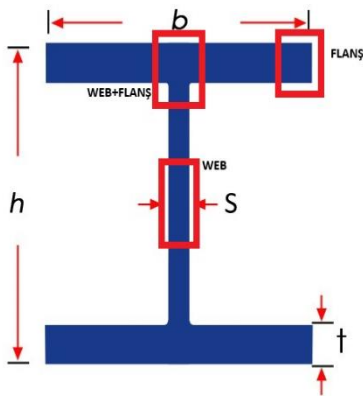
DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1 PROFİLİN HAZIRLANMASI

Bu çalışmada, çelik konstrüksiyon yapılarda en çok kullanılan S275JR kalite HEA 120 ile 140 ve HEB 120 ile 140 ebatlarındaki çelik yapı profilleri kullanılmıştır.

Profillerin üretiminde kullanılan 280X360X90 mm ebatlarındaki S275JR kalite beam blankler sürekli döküm tesislerinde açık döküm ve vakumsuz olarak dökülmüştür. Üretilen bu yarı mamuller haddehaneye sevk edilerek 1200°C’de tavlama işlemine tabi tutulmuştur. Tavlama işleminden sonra sıcak haddeleme yöntemi ile tersinir haddelerde pasolanarak üretilmişlerdir. Üretilen HEA 120/140 ve HEB 120/140 ebatlarındaki profillere ait ölçüler Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Profil özellikleri.



Boyutlar (mm)	h	b	s	t	Birim Kütle (kg/m)
HEA 120	114	120	5	8	19.9
HEB 120	120	120	6.5	11	26.7
HEA 140	133	140	5.5	8.5	24.7
HEB 140	140	140	7	12	33.7

Bu tez çalışmasında kullanılmış olan profillerin kimyasal bileşimleri (% ağırlık olarak) Çizelge 3.2’de verilmiştir. Profil üretiminin EN 10025-2 standardına göre gerçekleştiği ve kimyasal kompozisyonlarının da bu standarda uygun olduğu görülmüştür.

Çizelge 3.2. Ana malzemelerin kimyasal bileşimleri (ortalama değerler).

Malzeme Ebat ve Kaliteleri	(% Ağ.)												Ppm
	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	V	Al	Nb	C _{EV}	N
EN 10025-2 (max)	0.24	1.60	-	0.045	0.045	-	-	0.55	0.15	-	0.06	0.40	120
HEA 120 (S275JR)	0.094	0.756	0,123	0.015	0.0125	0,049	0,045	0.063	0.0024	0,0016	0.0002	0.239	68
HEB 120 (S275JR)	0.101	0.718	0,070	0.023	0.0164	0,031	0,041	0.047	0.0009	0,0013	0.0002	0.234	58
HEA 140 (S275JR)	0.085	0,813	0,162	0,013	0,0212	0,035	0,031	0,038	0,0034	0,0023	0,0002	0,233	65
HEB 140 (S275JR)	0,094	0,910	0,174	0,021	0,0199	0,035	0,032	0,039	0,0057	0,0011	0,0003	0,259	60

Bu tez çalışmasında kullanılmış olan HEA 120/140 ve HEB 120/140 ebatlı S275JR kalite çelik yapı profiller, uygulanacak olan ısıl işlem esnasında mevcutta bulunan fırın içerisine yerleştirilecek ve su verme hattında ileri-geri rahat hareket edebilecek şekilde KARMETAL marka şerit testere ile 25 cm uzunluğunda (Şekil 3.1) kesilmiştir.



Şekil 3.1. H profilin 25 cm uzunluğunda kesilmesi işlemi.

3.2. HIZLANDIRILMIŞ SU VERME (HS-KT) ISIL İŞLEMİNİN UYGULANMASI

Hızlandırılmış su verme ısıl işlem prosesi için 25 cm uzunluğunda kesilen, açılan deliklere yerleştirilmiş olan termokupları ile profiller, öncelikle sıcaklık dağılımının lineer olduğu Şekil 3.2’de ki Telmika model sıcaklık kontrol üniteli 290x290x450 mm³ hacime sahip bir kül fırınında yaklaşık olarak 950°C’de 1 saat boyunca östenitlenmiştir. Östenitlenen ve hızlandırılmış soğutma ısıl işlemi uygulanacak profillerin kesiti boyunca optimum mekanik özelliklerinin elde edilmesi için östenitleme fırınındaki sıcaklık dağılımının minimum olması büyük önem arz etmektedir. Bununla beraber fırın atmosferine östenitleme işlemine ek olarak N2-5H2 gaz karışımı verilmiştir. İncelenen profillerin östenitleme süresi ve sıcaklık ise genel 1 inç kalınlık işlemi kuralına göre belirlenmiştir [21, 22].



Şekil 3.2. Kül fırını.

Bu tez çalışması kapsamında aynı kimyasal sahip bileşime sahip HEA 120/140 ve HEB 120/140 4 farklı ebatlı S275JR kalite çelikler incelenmiş olup HEA 140 profil için ise 2 farklı basınç parametresi uygulanmıştır. Isıl işlem parametreleri aşağıda Çizelge 3.1’de verilmiştir. Bu çalışmada, 20 sn. soğutma süresi, 2 kat (120mm-140mm farklı profil kesitleri için) soğutma plakası profil arası mesafe, 8 ve 12 bar hava basıncına sahip hızlandırılmış soğutma ısıl işlemi uygulanmıştır. Böylece, aynı mesafeler arasında farklı ebatlardaki profillerin kalıntı gerilim özelliklerine etkisi incelenmiştir.

Çizelge 3.3. Isıl işlem parametreleri.

Profil	Fırın Sıcaklığı (°C)	Soğutma (su verme) Süresi (sn.)	Soğutma Plakası- Profil Arası Mesafe (mm)	Hava Basıncı (ps)
HEA 120 HEB 120	900	20	2 Kat 120 mm	8 12
HEA 140 HEB 140			2 Kat 140 mm	

3.3. KALINTI GERİLİM ÖLÇÜMÜ

Hızlandırılmış soğutma uygulanan profillerin kalıntı gerilim değerleri için profillerde metre ile ilk olarak web ve flanş bölgelerinde tam orta noktaları tespit edilmiştir. Sonra bu alan üzerindeki pürüzler ince zımpara taşı ve zımpara kağıdı ile giderilerek Şekil 3.3'te ki gibi zımparalanmış tufalsız yüzeye ulaşılmıştır.



Şekil 3.3. Profil üstünde belirlenen orta noktanın zımparalanması.

Sonrasında yağ çözücü ile zımparalanan yüzey üzerindeki pas ve diğer yabancı partiküller yüzeyden uzaklaştırılmıştır. Ardından ölçüm yapılmasını sağlayan gerinim ölçer (strain gage) hazırlanmış olan bu merkez yüzeylere şeffaf bant yardımı ile yapıştırılmıştır. Banta yapışmış olan gerinim ölçer, yüzeyden bant ile kaldırılarak okuyucunun olduğu kısma bir damla M-Bond 200 yapıştırıcısı uygulanmış ve yapıştırıcının aktivasyonu için gerinim ölçerin altına fırça yardımıyla yüzey gerinim ölçer sıvısı olarak adlandırılan katalizör sürülmüştür.

Bu aşamada yüzey ile gerilim ölçerin temasını sağlamlaştırmak, yapışmanın tamamlanması sıcaklık ve basınçla gerçekleştiği için gerinim ölçer üzerine el yardımı ile bir süre uyunca bastırılmıştır. Yaklaşık 2 dakika sonrasında yapışmanın gerçekleştiği gözlemlenmiş ve bant gerinim ölçerin üzerinden yatayla dik açı yapacak bir şekilde yavaşça çekilerek kaldırılmıştır. Gerinim ölçerin kesim esnasında testereyi soğutmada kullanılan bor yağı+su karışımının sebep olabileceği korozyondan ve oksitlenmeden korumak amacıyla, bağlantı noktalarının ve veri iletimi sağlayan kabloların Şekil 3.4’ deki gibi epoksi yapıştırıcı yardımıyla açıkta kalan kısmı kaplanmış, koruyucunun etkisini göstermesi için 24 saat beklenmiştir.



Şekil 3.4. Yapıştırılan gerinim ölçerin üstüne epoksi yapıştırıcı uygulanması.

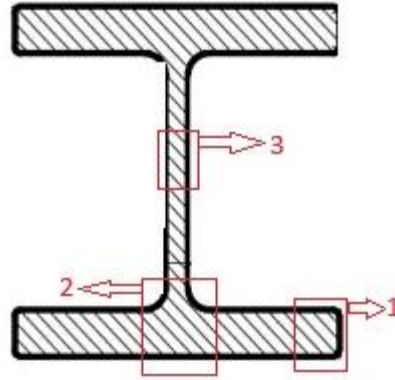
Kalıntı gerilim ölçümleri, profillerim üzerine sabitlenen gerinim ölçere (strain gage) bağlı olan telin çevirici soket ile Micro Measurement VPG marka (Vishay) CEA-06-240UZ-120 model cihaza takılmasıyla yapılmıştır. Profilin, Uzay Makine marka 350 LG model şerit testere yardımı ile gerinim ölçerin önünden ve arkasından yaklaşık olarak 20-25 mm uzağından kesilmesi sırasında kalıntı gerilme ölçümü bilgisayar programıyla eşzamanlı olarak anlık veri alınarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Profilde kesit alma yöntemi ile kalıntı gerilim ölçümü.

3.4. MİKROYAPI KARAKTERİZASYONU

HS-KT ısıtıl işlemi uygulanan ve uygulanmayan profiller mikroyapı görüntüleri için ilk olarak Şekil 3.6'daki gibi malzemeyi temsil edecek şekilde web(3), web+flanş(2) ve flanş(1) bölgelerinden abrasif kesici ile kesilmiştir.



Şekil 3.6. Mikroyapı çalışması için kesilen bölgeler.

HS-KT ısıtıl işlemi uygulanan ve uygulanmayan profillerin kesitinden ve yüzeyinden olmak üzere ikişer adet numuneler alındıktan sonra, zımparalama (220, 500, 1200, 2000 kademeler) ve sırasıyla 9 µm, 6 µm ve 1 µm Metapo marka keçeler kullanılarak Şekil 3.7'deki METKON marka Forcipol 2V zımparalama-parlatma cihazında parlatılarak hazırlanmıştır. Hazırlanan numuneler %3 Nital çözeltisi ile yaklaşık 3 sn. dağlanmıştır.



Şekil 3.7. Zımparalama, parlatma cihazı.

Dağlama işlemi tamamlanmış olan numunelerden Zeiss marka (Şekil 3.8) optik mikroskop cihazında X100 ve X1000 büyütmelerde mikroyapı görüntüleri alınmıştır.



Şekil 3.8. Zeiss marka optik mikroskop.

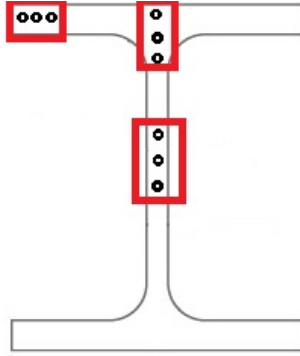
3.5 SERTLİK TESTİ

Kalıntı gerilim ölçümü tamamlanan profillerden kesim sonrası kalan profil kesitleri, yüzeyleri zımparalanarak sertlik ölçümü için hazır hale getirilmiştir. Sertlik değerleri, Şekil 3.9'da ki OPTOBUL marka cihazda standarda uygun olarak 10 sn. süreyle 750 gr yük altında 5 mm'lik bilye ile Brinell cinsinden ölçülmüştür.



Şekil 3.9. Sertlik ölçümlerinde kullanılan Brinell sertlik cihazı.

Hızlandırılmış soğutma işlemine tabii tutulan ve orijinal (ısıtılmış) profillerin kesitlerinden web, web+flanş ve flanş bölgelerinde Şekil 3.10’da gösterildiği gibi sertlik testleri yapılmıştır. Web, web+flanş ve flanş bölgelerinde her bir bölgeden en az 3 farklı noktadan gerçekleştirilen sertlik ölçümlerinin ortalama değerleri alınmıştır.



Şekil 3.10. Sertlik değerlerinin alındığı bölgelerin profil kesiti üzerinde gösterimi.

BÖLÜM 4

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

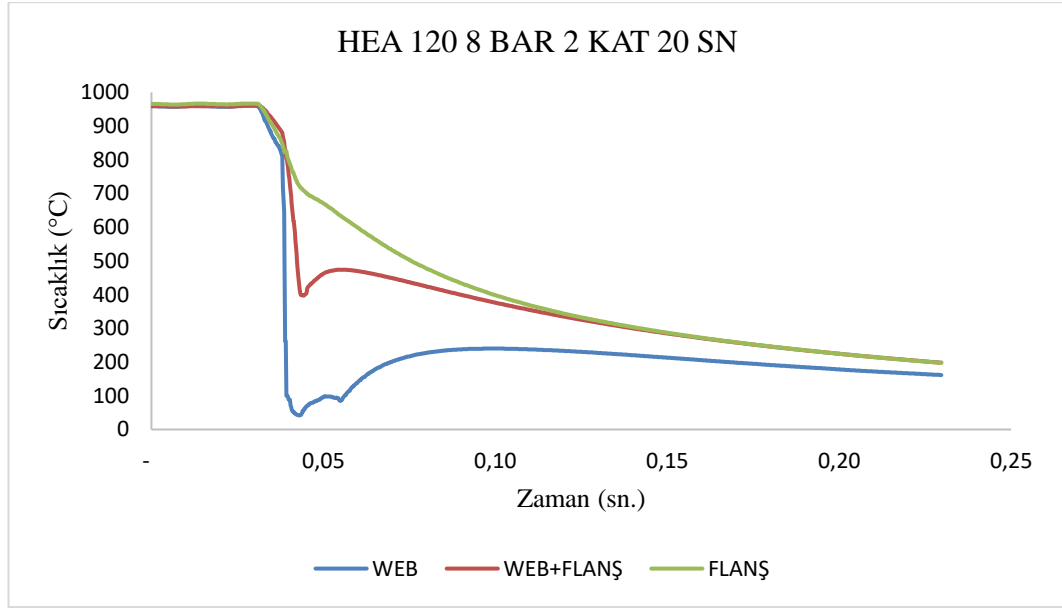
4.1. PROFİLLERİN SOĞUMA HIZLARI

Farklı parametrelerde HS-KT ısıtma işlemi uygulanan profillerin zamana göre web, web+flanş ve flanş bölgelerine ait soğuma grafikleri Şekil 4.1-4.5 'te verilmiştir.

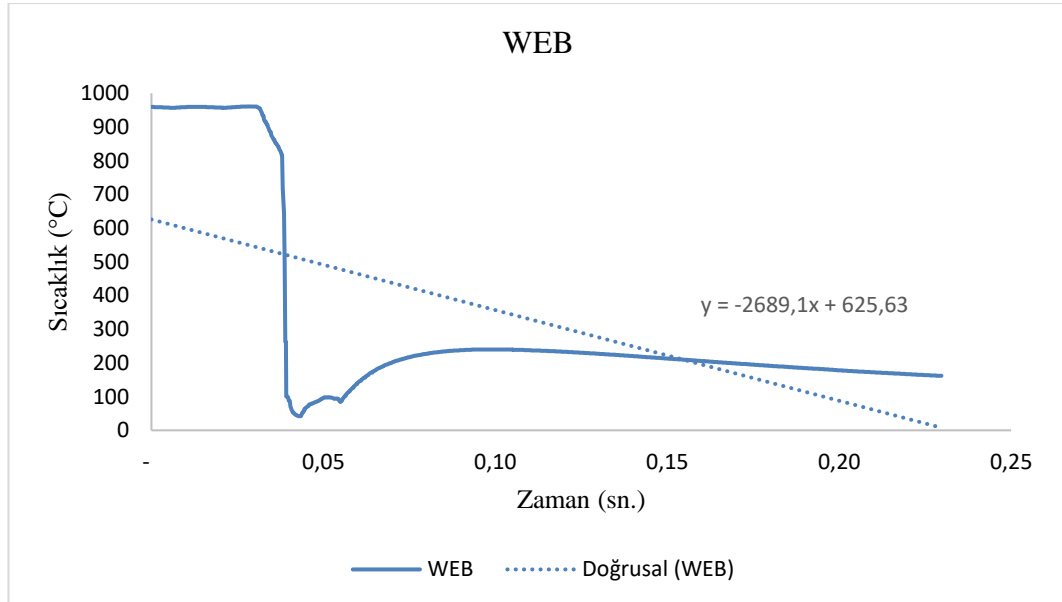
HS-KT işleminin, soğutma sistemi tasarımıyla da ilgili olarak, web bölgesine uygulanmasından dolayı soğuma grafiğinin Şekil 4.1'de yer alan HEA 120 profilin 2 Kat 8 Bar da soğuma grafikleri incelendiğinde, H profilin östenitleme sıcaklığı olan 950°C'den ani şekilde bir düşüş olduğu tespit edilmiştir. Ancak, grafiklerde görüldüğü üzere HS-KT ısıtma işlemi uygulanmış profilin yüzeyinde ani sıcaklık düşüşü, çekirdek bölgesindeki sıcaklık etkisi ile sıcaklık artışı meydana geldiği görülmüştür. Tam olarak bu noktada H profillerin bu tez çalışmasında da bahsedildiği gibi çekirdek bölgesindeki iç sıcaklık artışı ile kendi kendine temperlemenin gerçekleştiği anlaşılmıştır.

Benzer durum her iki taraftan soğutma işlemine maruz kalan web ve web+flanş olarak adlandırılan bölgede de meydana gelmiştir. Ancak, flanş bölgesinde (HS-KT) proses sistemi nedeniyle basınçlı hava+su ilişkisi tam olarak sağlanmadığından diğer bölgelere göre flanş bölgesi lineer bir soğuma göstermiş kendi kendine temperleme bu bölgede tam olarak gerçekleşmemiştir.

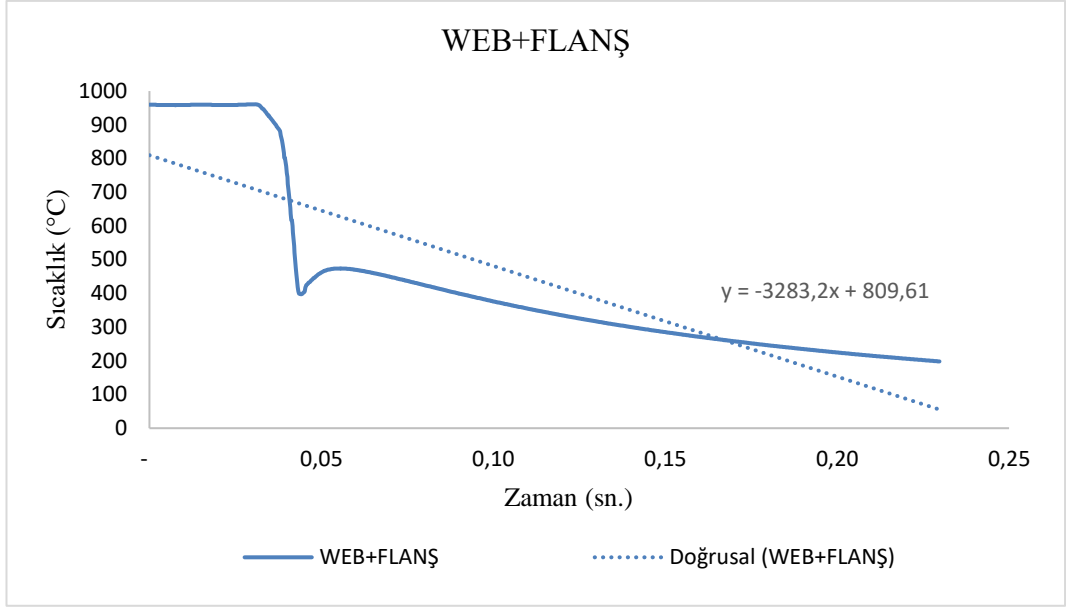
HEA 120/140 ebatlı profillere göre daha kalın ölçülere sahip olan HEB 120/140 ebatlı profillerin soğuma hızının daha düşük olduğu grafiklerden gözlenmektedir. Daha kalın kesitli profil olmasından dolayı kendi kendini temperleme işlemi ya yüksek sıcaklıklarda meydana gelmiştir ya da kendi kendini temperleme işlemine gerek kalmayacak şekilde soğumanın bitiş sıcaklığı oldukça yüksektir.



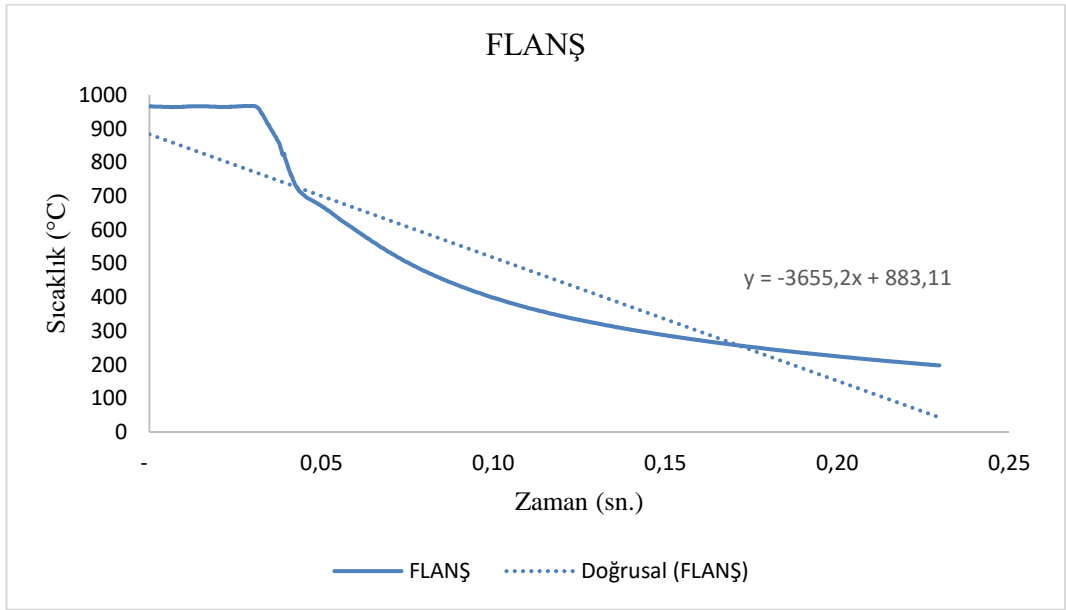
a)



b)

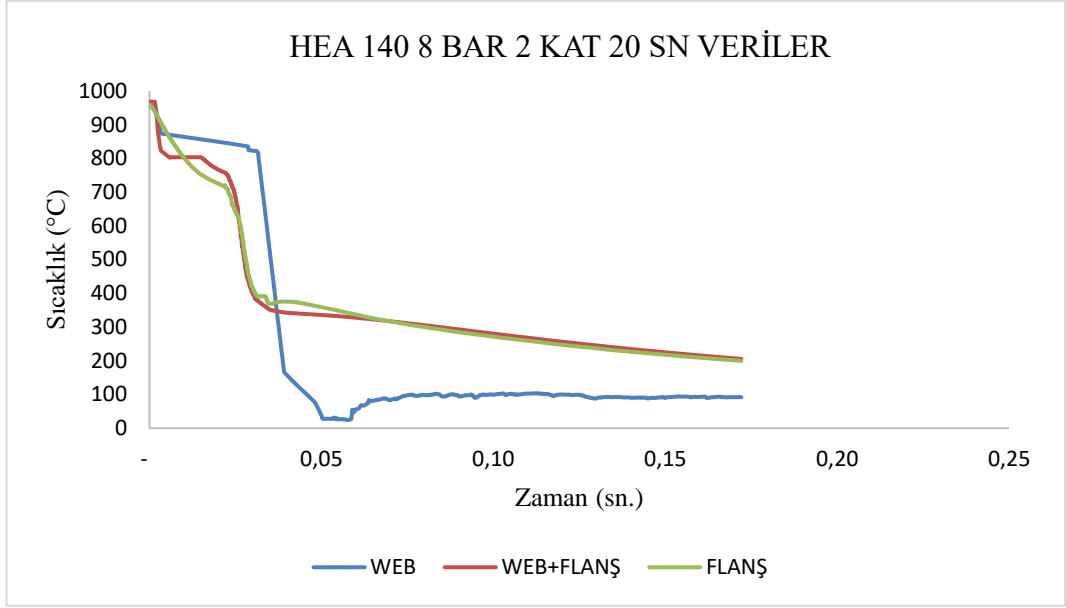


c)

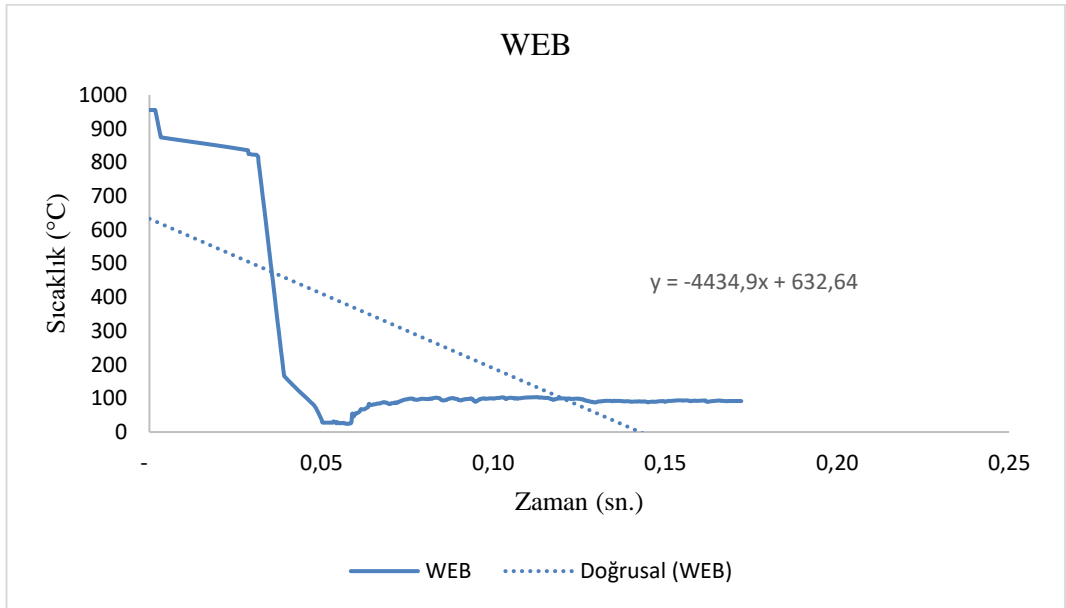


d)

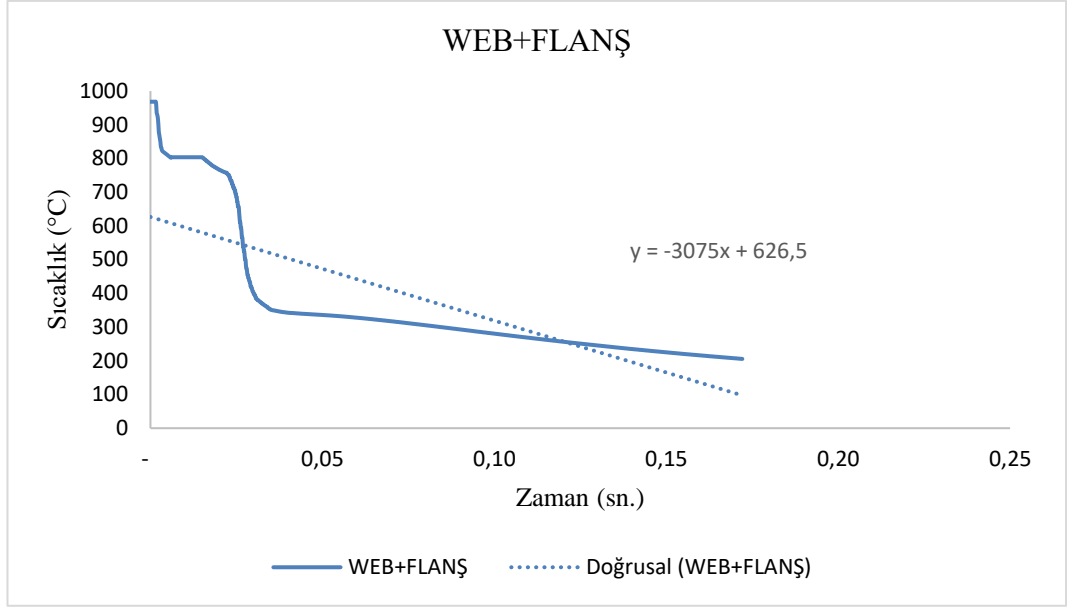
Şekil 4.1. HEA 120 profilin a), b), c), d), 2 kat 8 bar 20 sn soğuma grafikleri.



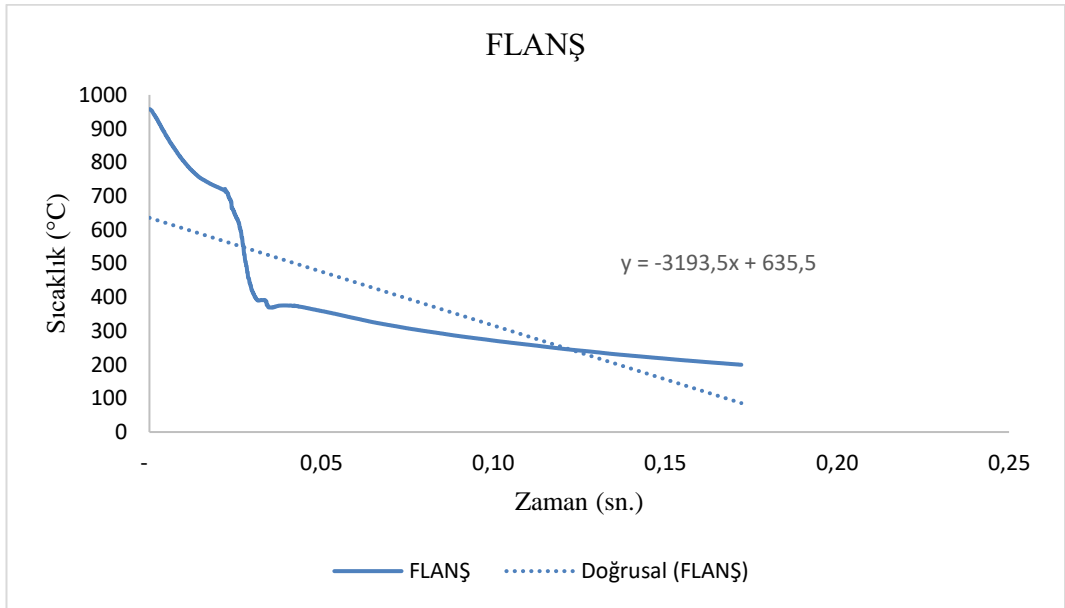
a)



b)

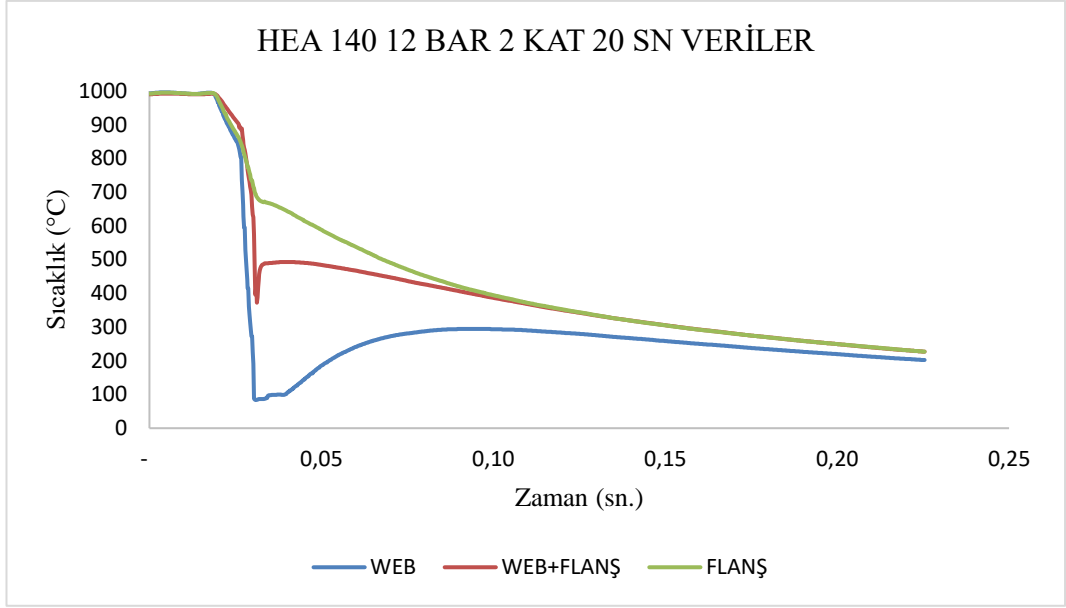


c)

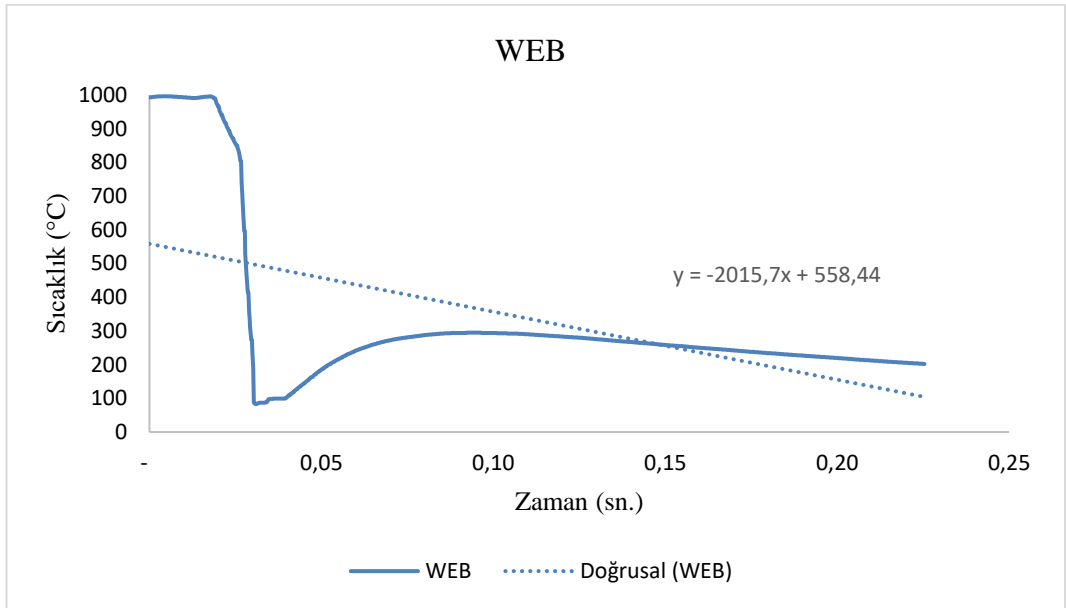


d)

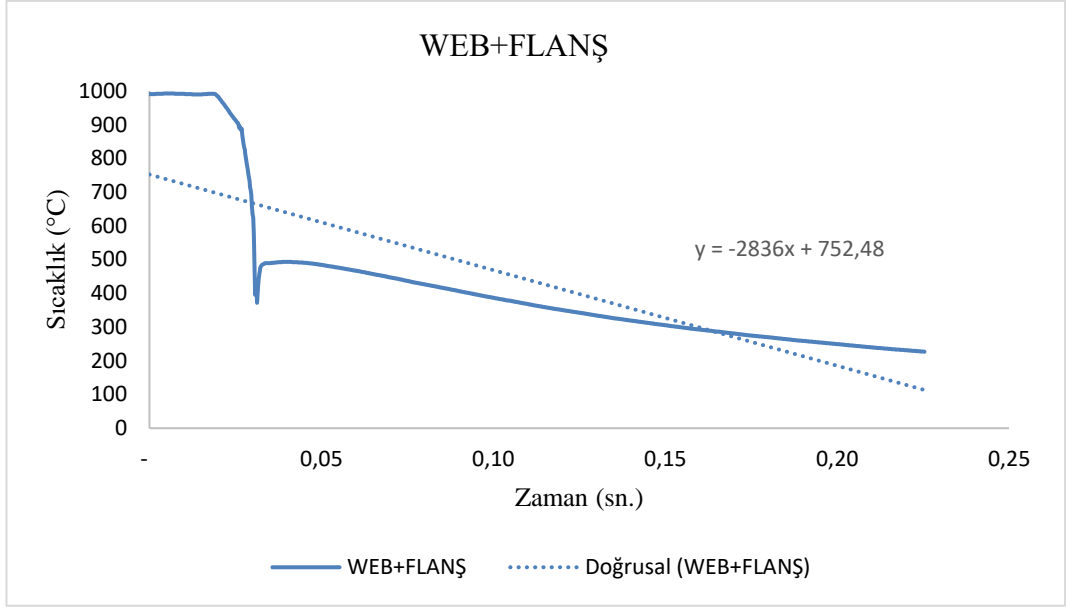
Şekil 4.2. HEA 140 profilin a), b), c), d), 2 kat 8 bar 20 sn soğuma grafikleri.



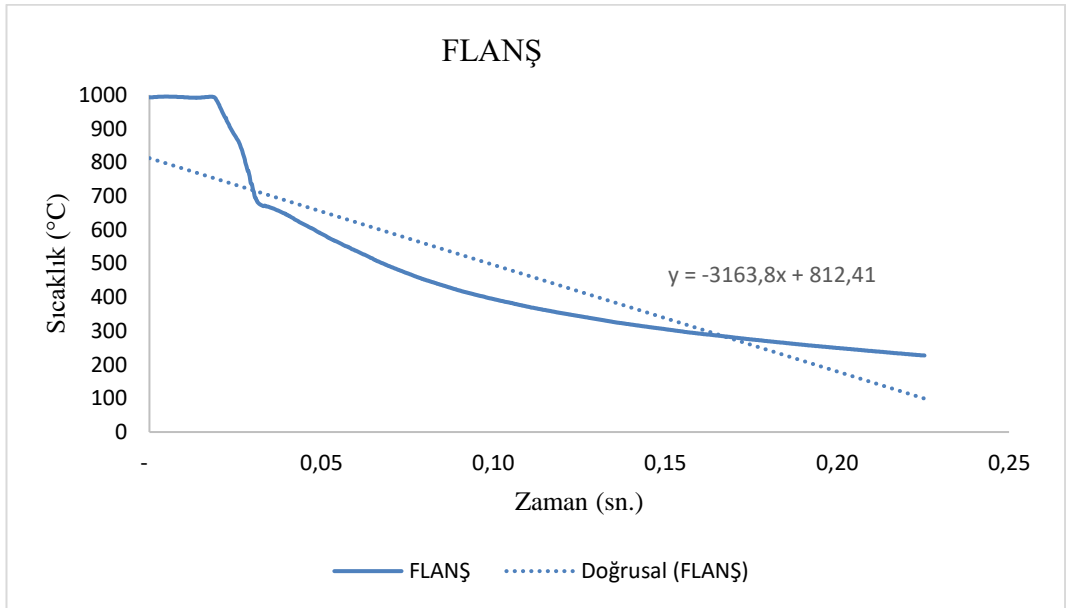
a)



b)

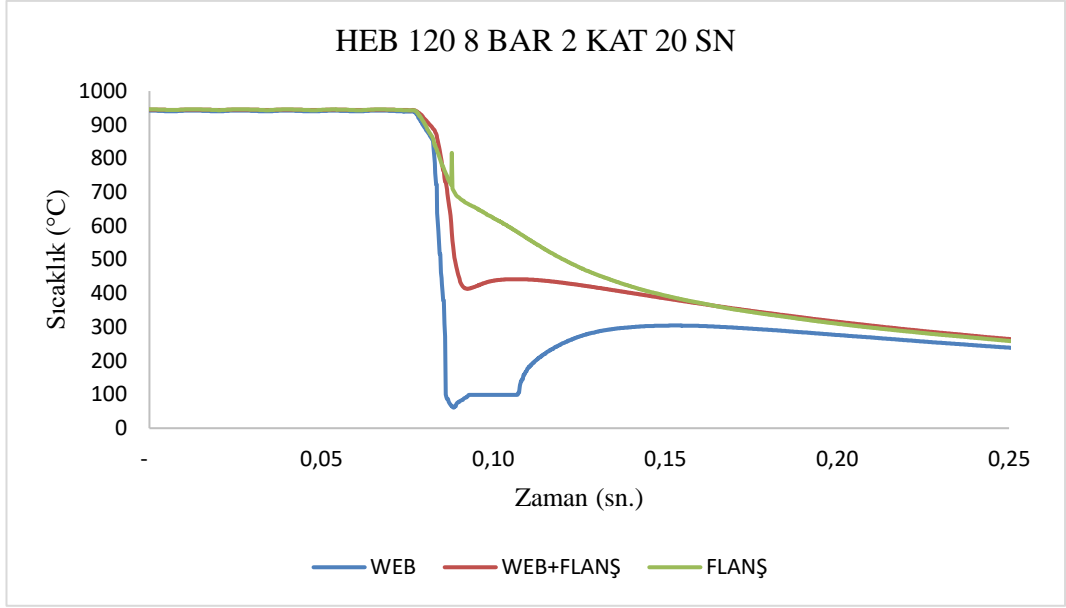


c)

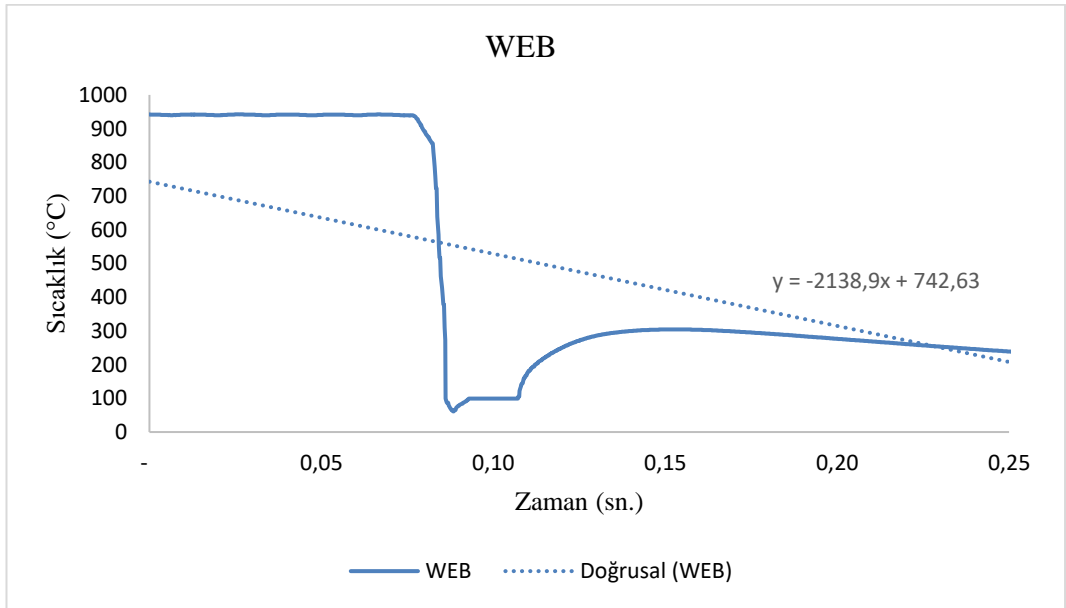


d)

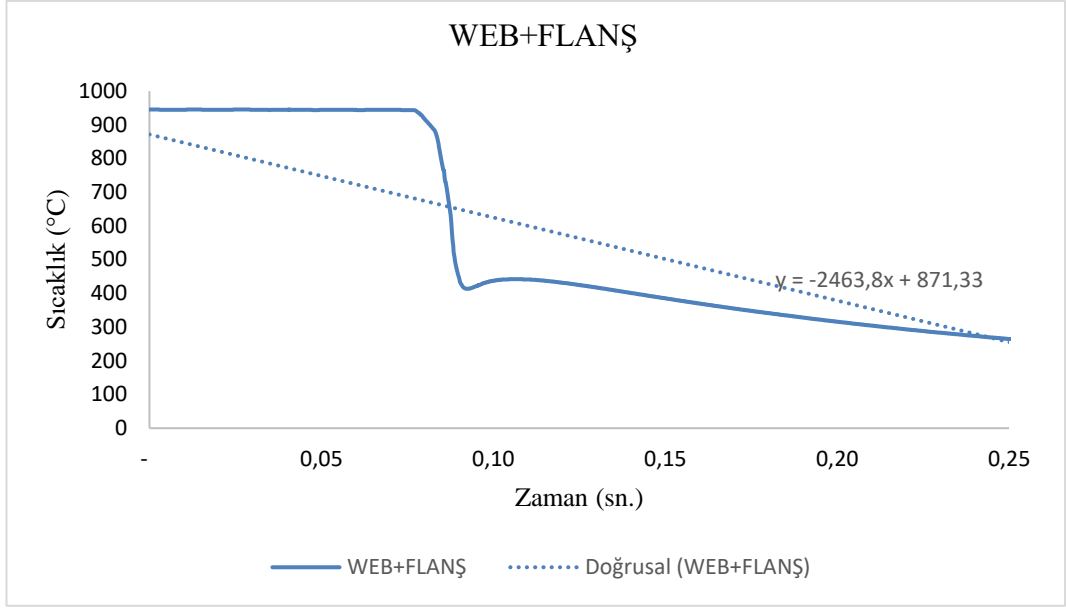
Şekil 4.3. HEA 140 profilin a), b), c), d), 2 kat 12 bar 20 sn soğuma grafikleri.



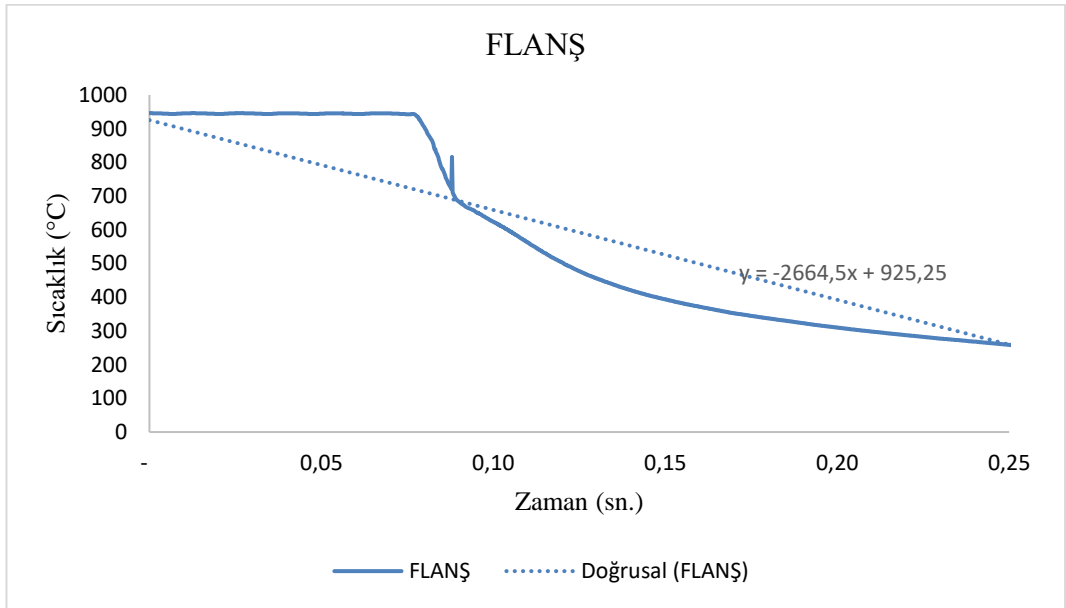
a)



b)

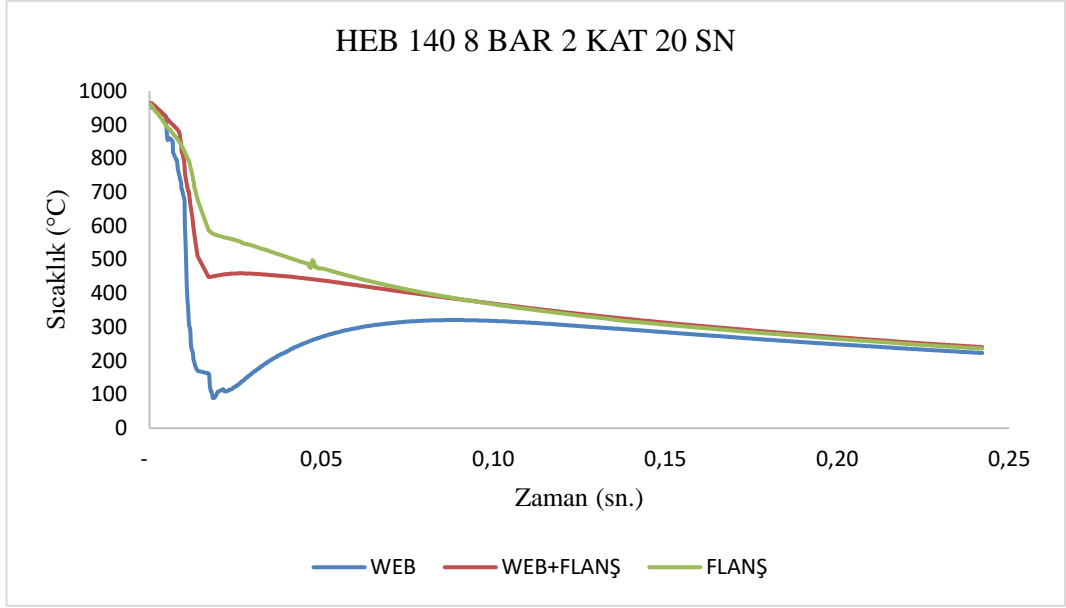


c)

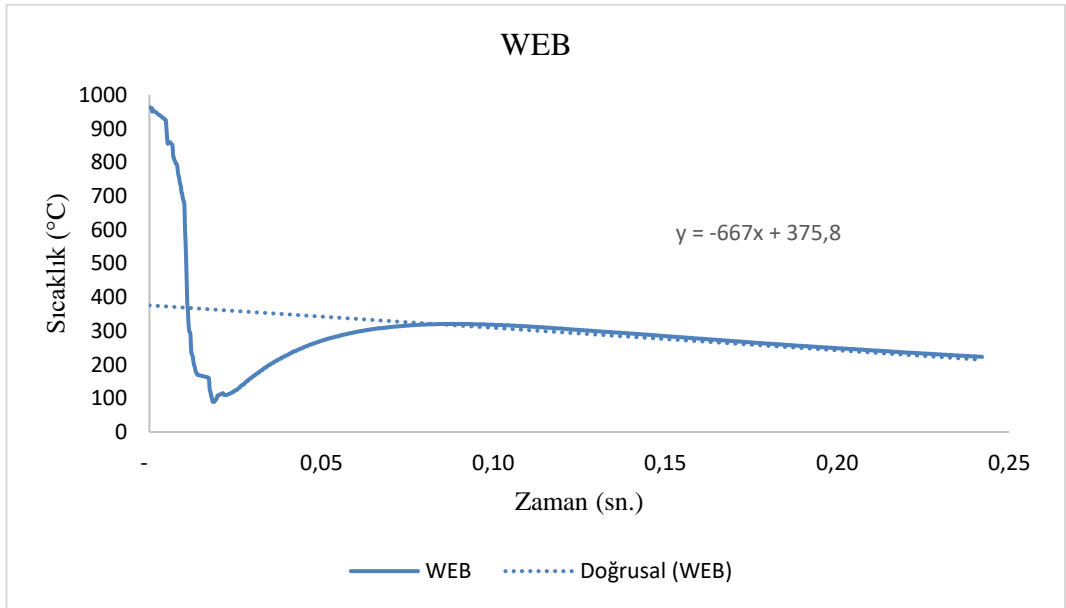


d)

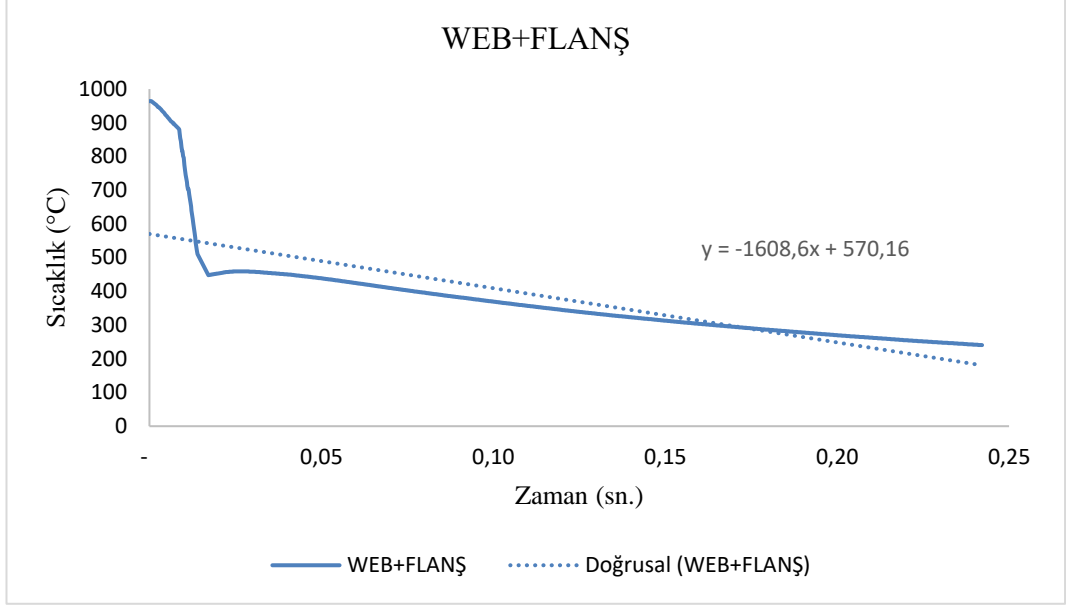
Şekil 4.4. HEB 120 profilin a), b), c), d), 2 kat 8 bar 20 sn soğuma grafikleri.



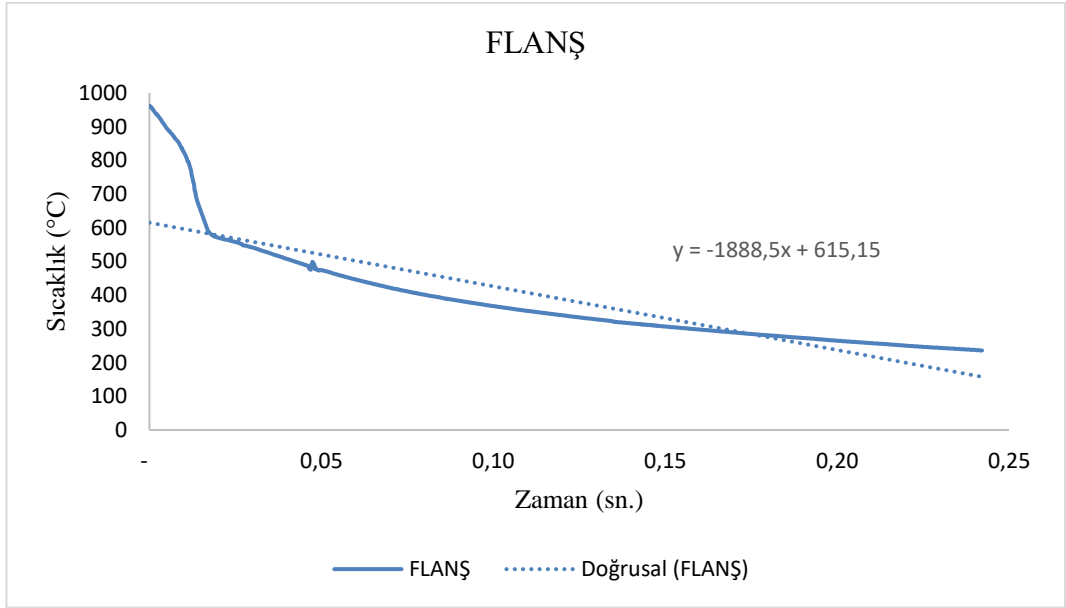
a)



b)



c)



d)

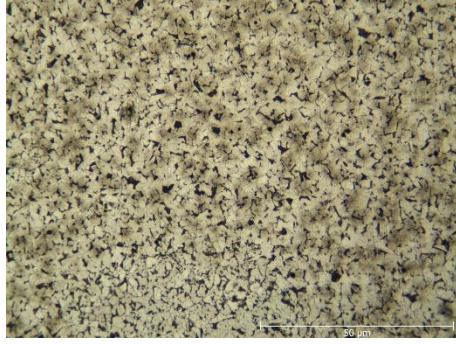
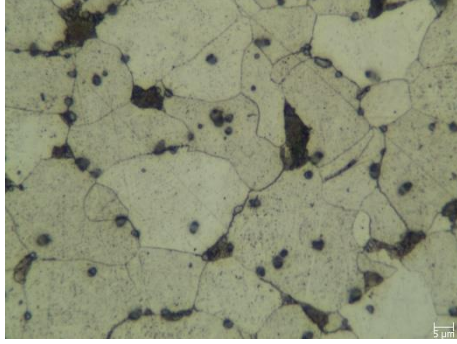
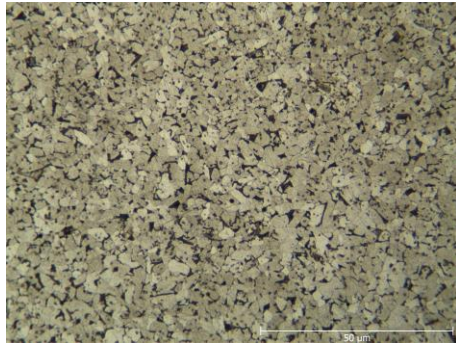
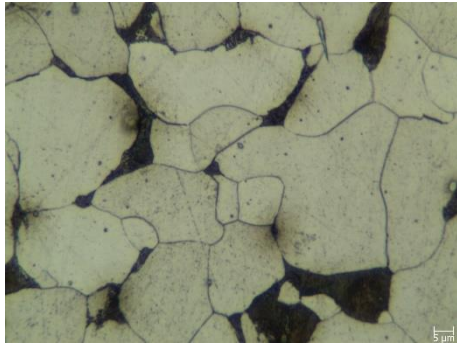
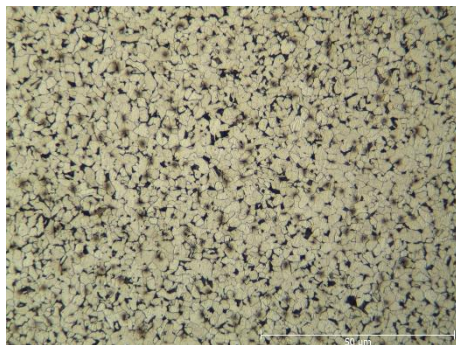
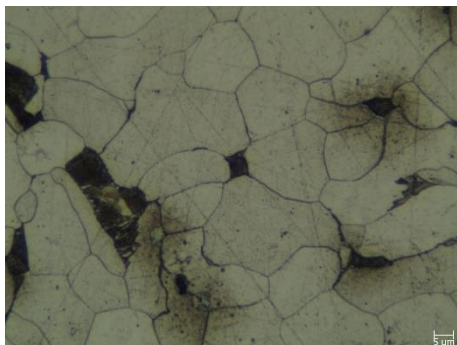
Şekil 4.5. HEB 140 profilin 2 kat 8 bar 20 sn soğuma grafikleri.

4.2. MİKROYAPI ANALİZLERİ

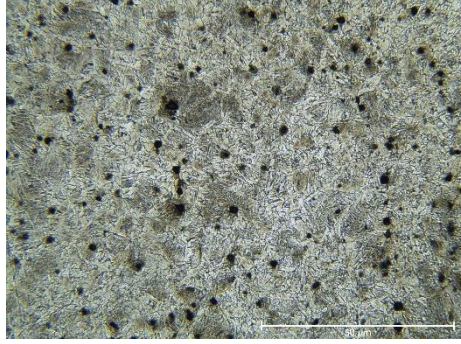
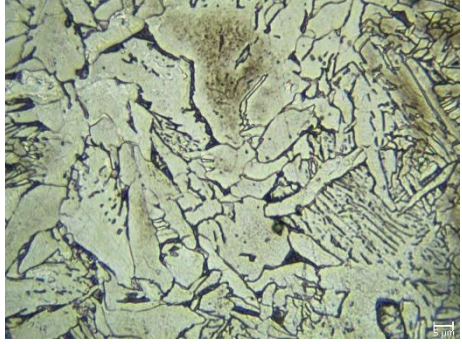
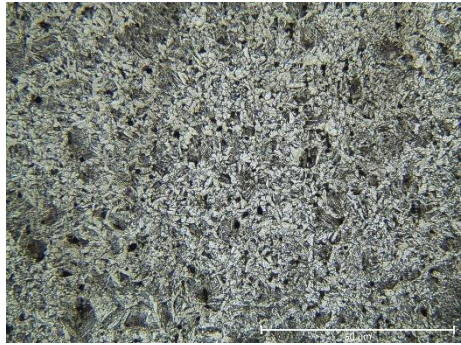
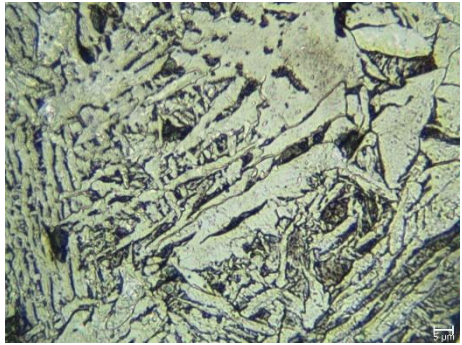
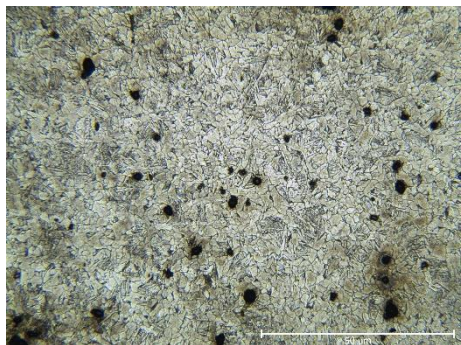
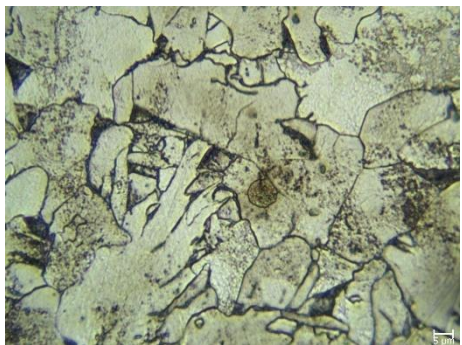
HS-KT ısıtıl işlemi uygulanmış ve uygulanmamış HEA 120/140 ve HEB 120/140 ebatlı profillerin web, web+flanş ve flanş bölgelerinin Şekil 4.6 ile Şekil 4.12 aralığında X100 ve X1000 büyütmedeki mikroyapı görüntüleri verilmiştir.

HS-KT ısıtıl işlemleri uygulanmamış profillerden alınan numunelerin mikroyapı görüntüleri incelendiğinde Ferrit+Perlit fazı olduğu tespit edilmiştir. Profillerin kesit ve yüzey olarak iki farklı bölgesinden alınan görüntülerinde herhangi bir farklılık olmadığı görülmüştür.

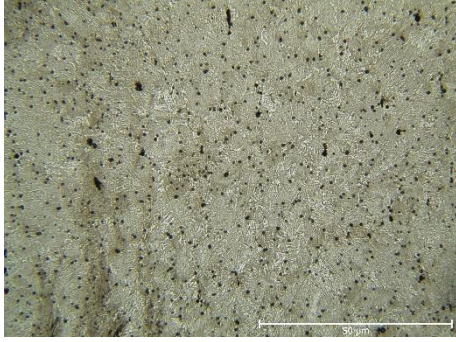
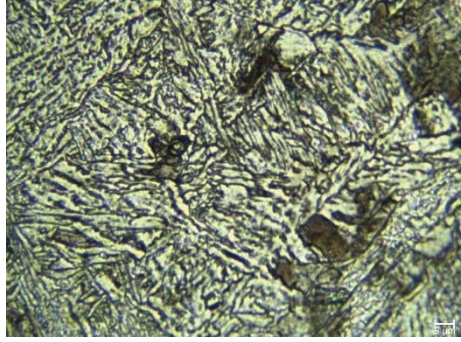
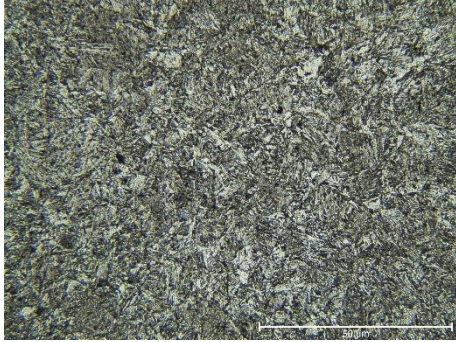
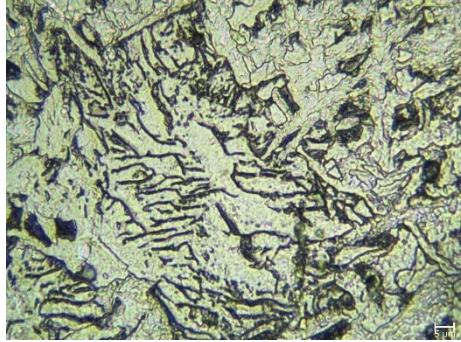
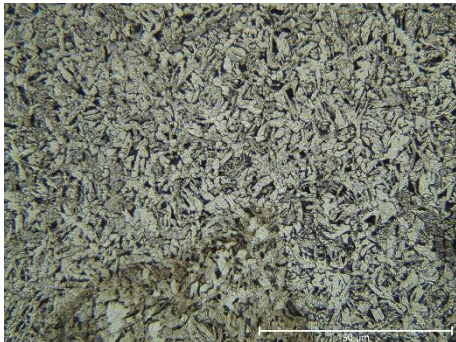
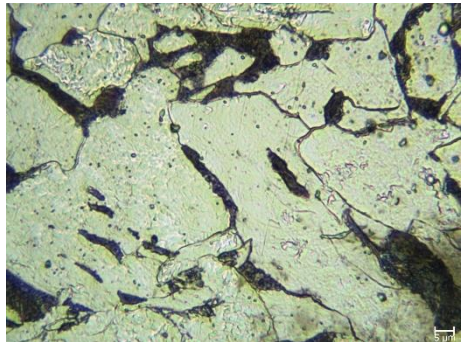
HS-KT ısıtıl işlemi uygulanan HEA 120/140 ve HEB 120/140 profillerin soğuma hızlarının yüksek web bölgesindeki optik mikroskop görüntülerinde HS-KT ısıtıl işlemi uygulanmamış orijinal profilde gözlemediğimiz Ferrit+Perlit fazlarının iğnemsisi (asiküler)/poligonal ve ince lamellere dönüştüğü tespit edilmiştir. Soğuma hızının düşük olduğu flanş bölgelerinde ise granüler ve/veya poligonal ve/veya lamelli yapılardan oluştuğunu görmekteyiz. Alaşımız düşük karbonlu çeliklerde, yeterli sertleşebilirlik ancak östenit fazının martenzite dönüştürülmesiyle hızlandırılmış soğutma nedeniyle elde edilebilir. H profillerin kesit kalınlıkları arttıkça yapıdaki iğnemsisi ve ince lamel yapıların daha yoğun olduğu gözlemlenmiştir. Sebebinin ise HS-KT ısıtıl işlemi sırasında çekirdek bölgesinin kalın kesitli profillerde soğuma sonrasında daha yüksek sıcaklıklara ulaşarak kendi kendini temperlemesini daha iyi gerçekleştirdiği tahmin edilmektedir. Sonuç olarak hızlandırılmış soğutma ısıtıl işlemi sonrası profilin kendi kendini temperlemesi nedeniyle, karbona aşırı doymuş martenzitten, karbonun difüzyonu ile tüylü ve/veya ince uzun sementitten oluşan beynit, sorbit ve iğnemsisi ferrit oluşumunun meydana geldiği düşünülmektedir [23-25].

HEA 120 Isıl İşlemsiz		
Kesit	X100	X1000
Web		
Web+Flanş		
Flanş		


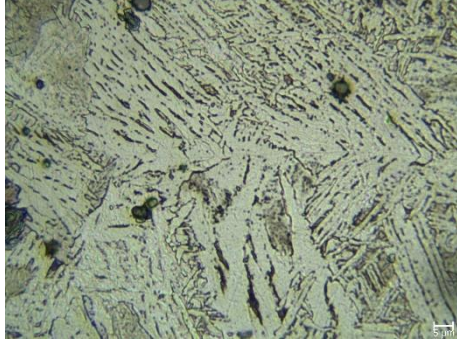
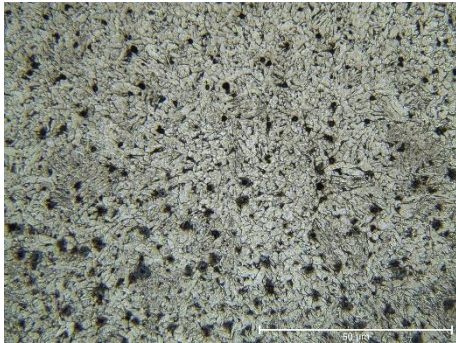
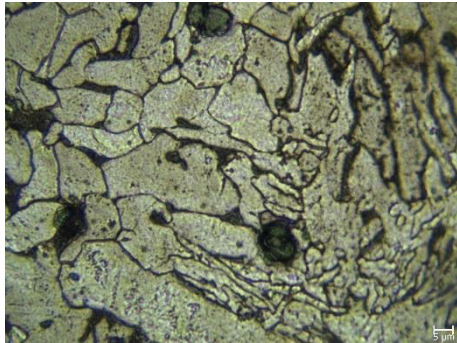
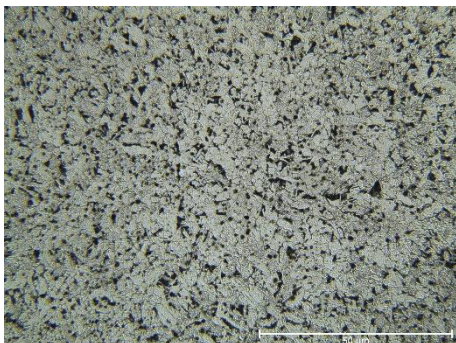
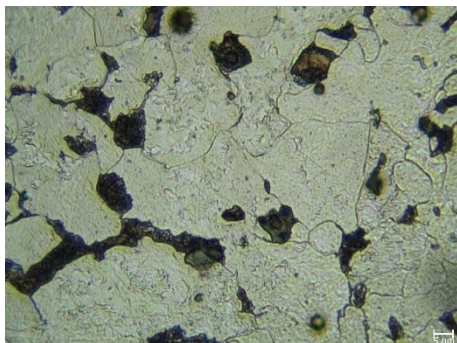
Şekil 4.6. Hızlandırılmış soğutma ısıl işlemi uygulanmamış HEA 120 profilin X100 ve X1000 büyütmede web, web+flanş ve flanş bölgelerindeki mikroyapı görüntüsü.

HEA 120 8B 2KT 20 SN		
Kesit	X100	X1000
Web		
Web+Flanş		
Flanş		

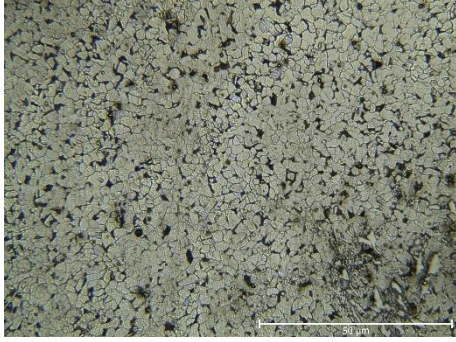
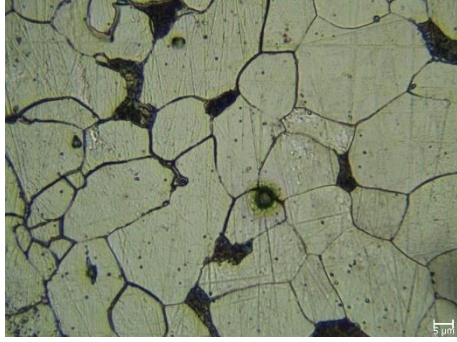
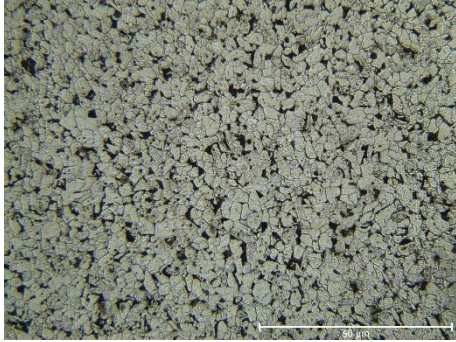
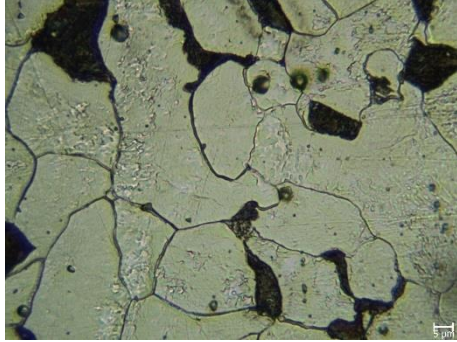
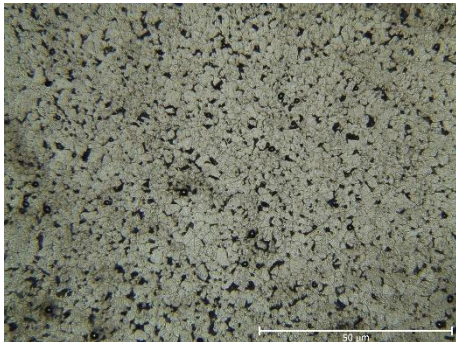
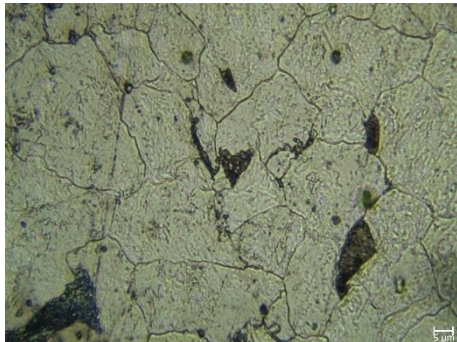
Şekil 4.7. HEA 120 profilin 8 bar basınçta 2 kat (120mm) mesafede 20 sn hızlandırılmış soğutma uygulanan profilin X100 ve X1000 büyütmedeki mikroyapı görüntüleri.

HEA 140 8B 2KT 20 SN		
Kesit	X100	X1000
Web		
Web+Flanş		
Flanş		

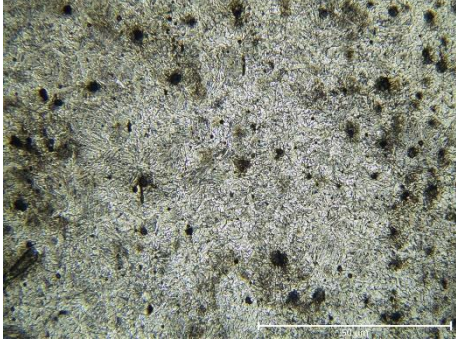
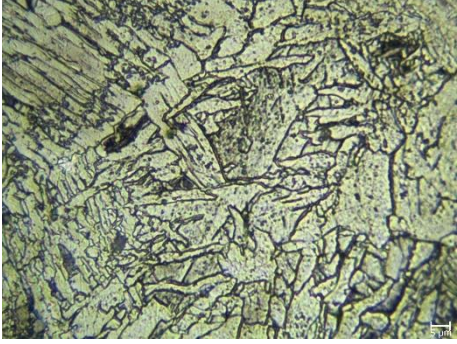
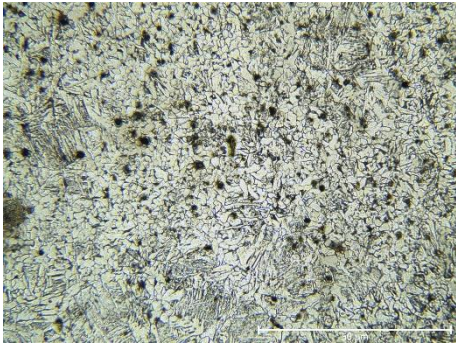
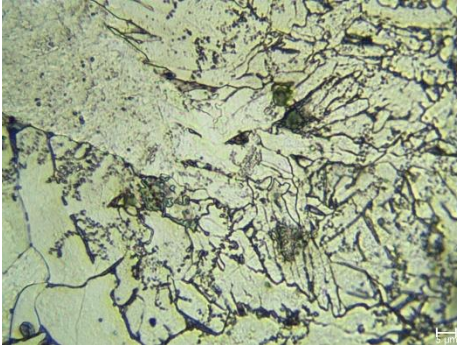
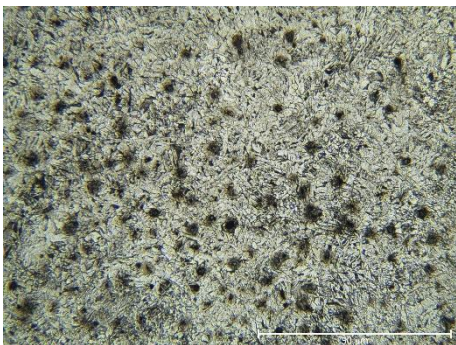
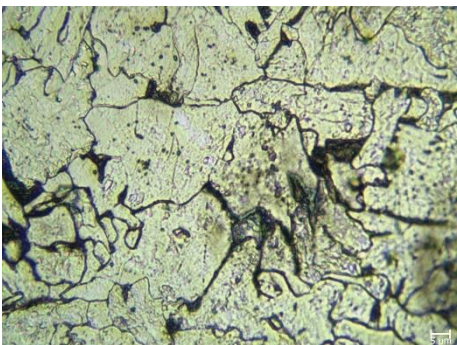
Şekil 4.8. HEA 140 profilin 8 bar basınçta 2 kat (140mm) mesafede 20 sn hızlandırılmış soğutma uygulanan profilin X100 ve X1000 büyütmedeki mikroyapı görüntüleri.

HEA 140 12B 2KT 20 SN		
Kesit	X100	X1000
Web		
Web+Flanş		
Flanş		

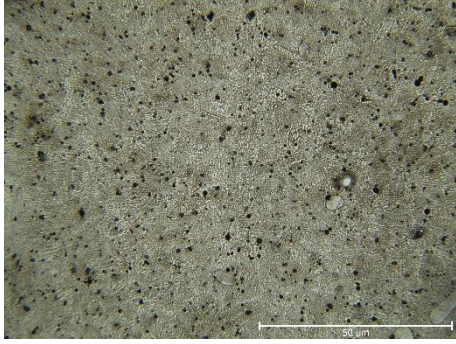
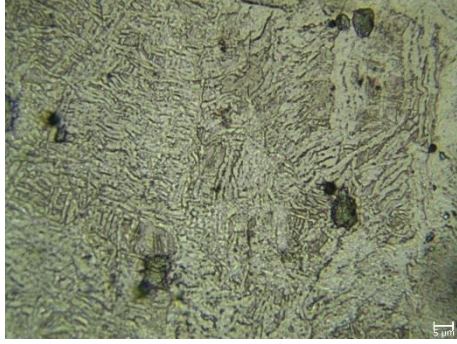
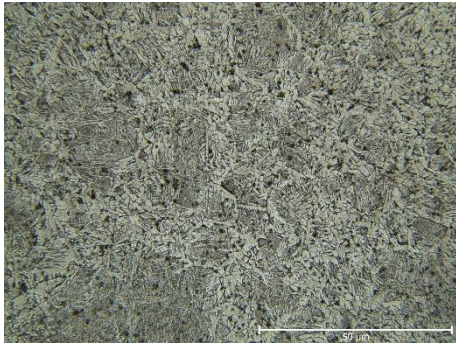
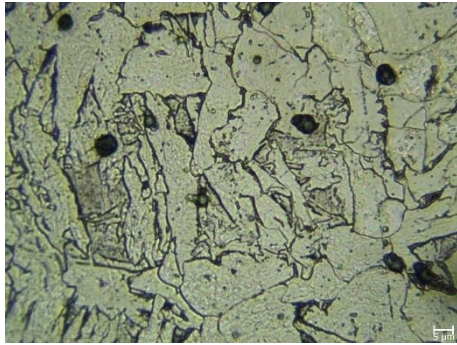
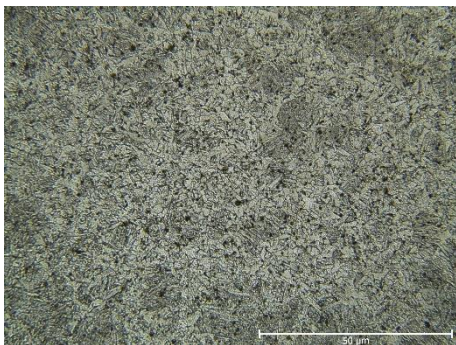
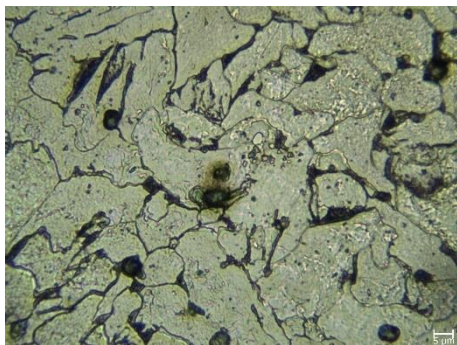
Şekil 4.9. HEA 140 profilin 12 bar basınçta 2 kat (140mm) mesafede 20 sn hızlandırılmış soğutma uygulanan profilin X100 ve X1000 büyütmedeki mikroyapı görüntüleri.

HEB 120 ISIL İŞLEMSİZ		
Kesit	X100	X1000
Web		
Web+Flanş		
Flanş		

Şekil 4.10. Hızlandırılmış soğutma ısıl işlemi uygulanmamış HEB 120 profilin X100 ve X1000 büyütmede web, web+flanş ve flanş bölgelerindeki mikroyapı görüntüsü.

HEB 120 8B 2KT 20 SN		
Kesit	X100	X1000
Web		
Web+Flanş		
Flanş		

Şekil 4.11. HEB 120 profilin 8 bar basınçta 2 kat (120mm) mesafede 20 sn hızlandırılmış soğutma uygulanan profilin X100 ve X1000 büyütmedeki mikroyapı görüntüleri.

HEB 140 8B 2KT 20 SN		
Kesit	X100	X1000
Web		
Web+Flanş		
Flanş		

Şekil 4.12. HEB 140 profilin 12 bar basınçta 2 kat (140mm) mesafede 20 sn hızlandırılmış soğutma uygulanan profilin X100 ve X1000 büyütmedeki mikroyapı görüntüleri.

4.3. SERTLİK

Farklı kesit kalınlıklarına sahip profillere uygulanan HS-KT ısıtma işleminin web, web+flanş ve flanş bölgelerinden elde edilen sertlik değerleri, Çizelge 4.1’de verilmiştir. HS-KT işleme tabi tutulan tüm profillerin web, web+flanş ve flanş bölgelerinin sertlik sütun grafikleri sunulmuştur.

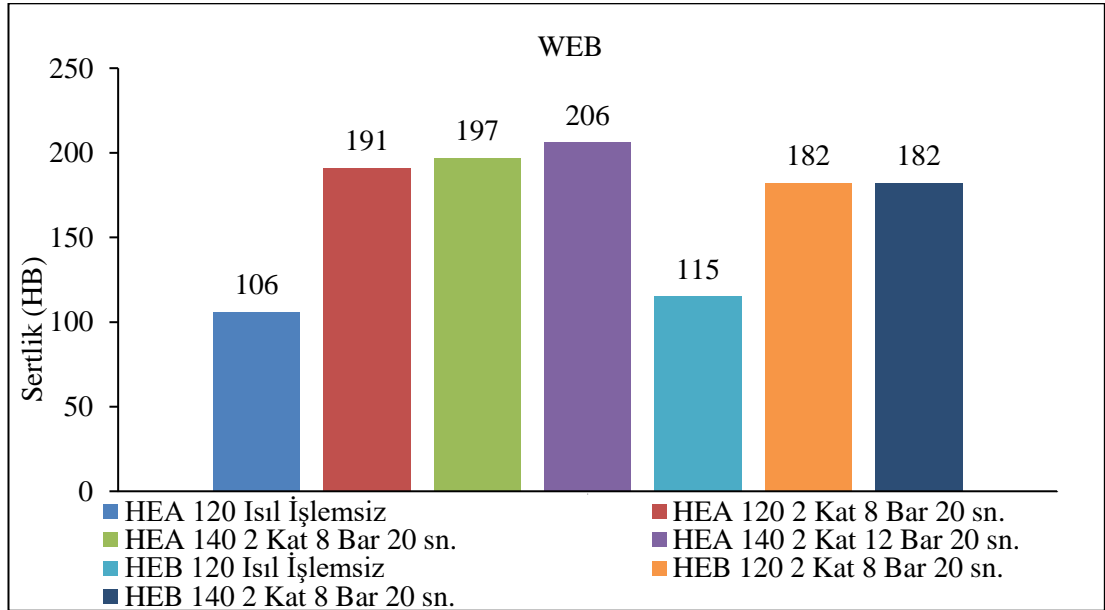
Sonuçlar incelendiğinde tüm profil tipleri için web bölgesi sertlik değerlerinin diğer bölgelere göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Flanş bölgesi ise sertlik değerlerinin en düşük olduğu bölgedir. Bunun nedeni, profilin bölümlerinin HS-KT ısıtma işlemi sırasında farklı oranlarda soğutma ve temperlemeye maruz kalmasıdır. Profillerin web, web+flanş ve flanş bölgelerinin et kalınlıklarındaki farklılıklar incelendiğinde HEA 120/140 profilin et kalınlığının HEB 120/140 profile göre daha düşük olması sebebi ile sertlik değerlerinin de daha yüksek olduğu görülmüştür.

Bunlara ilaveten sertlik sonuçlarında hava basıncının artırılarak soğutmanın hızlandırılması ile değerlerde artış olduğu tespit edilmiştir. Burada, basıncın artması ile profil yüzeyine püsküren su damlacıklarının etki alanını arttırdığını ek olarak saniye başına düşen hava+su karışımının fazla olarak profile aktarılması ile sertlik değerinin arttığı düşünülmektedir.

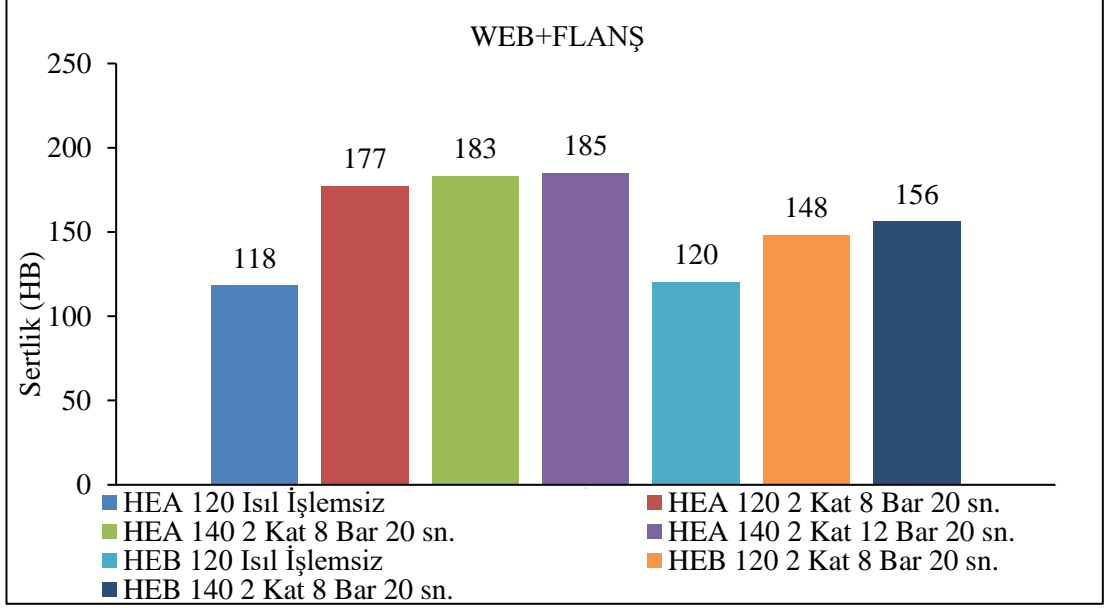
HS-KT işleminin uygulandığı 20 saniyelik HS-KT prosesinin işlem sürelerinde, profil kalınlıklarının artması ile soğutma hızının artmasına ve kendi kendine temperleme etkisine bağlı olarak sertlik değerlerinin arttığı kesin olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4.1. HEA 120, HEA140, HEB120 ve HEB140 sertlik testi sonuçları.

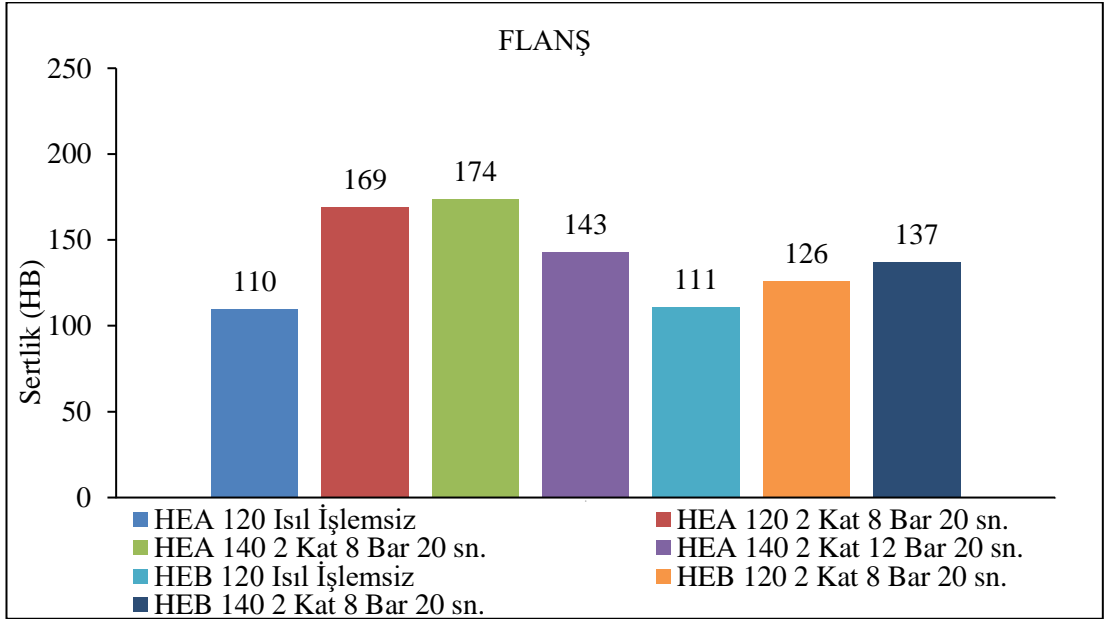
Profil	Web HB	Web+Flanş HB	Flanş HB
HEA 120 Isıl İşlemsiz	106±1	118±6	110±8
HEA 120 2 Kat 8 Bar 20 sn.	191±9	177±4	169±5
HEA 140 2 Kat 8 Bar 20 sn.	197±4	183±5	174±5
HEA 140 2 Kat 12 Bar 20 sn.	206±7	185±9	143±5
HEB 120 Isıl İşlemsiz	115±2	120±8	111±6
HEB 120 2 Kat 8 Bar 20 sn.	182±1	148±4	126±4
HEB 140 2 Kat 8 Bar 20 sn.	182±3	156±10	137±2



Şekil 4.13. HEA120, HEA140, HEB120 ve HEB140 ebatlarındaki profillerin 2 kat mesafede uygulanan/uygulanmayan hızlandırılmış su verme işlemi sonrası web bölgesinde oluşan sertlik değerleri.



Şekil 4.14. HEA120, HEA140, HEB120 ve HEB140 ebatlarındaki profillerin 2 kat mesafede uygulanan/uygulanmayan hızlandırılmış su verme işlemi sonrası web+flanş bölgesinde oluşan sertlik değerleri.



Şekil 4.15. HEA120, HEA140, HEB120 ve HEB140 ebatlarındaki profillerin 2 kat mesafede uygulanan/uygulanmayan hızlandırılmış su verme işlemi sonrası flanş bölgesinde oluşan sertlik değerleri.

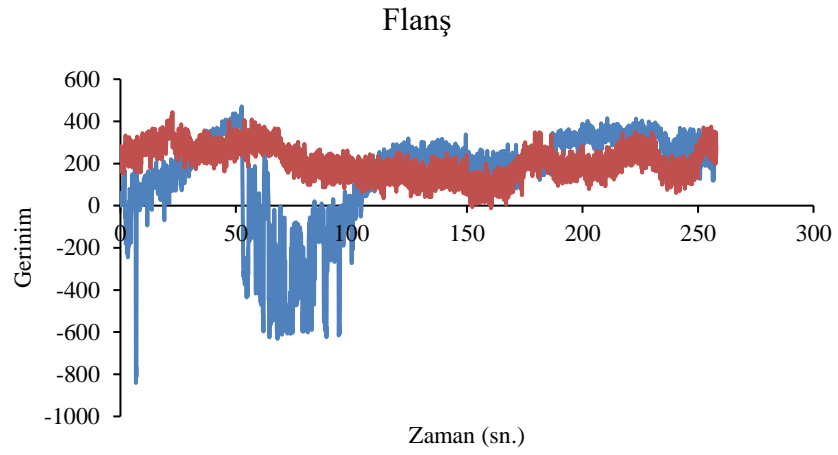
4.4. KALINTI GERİLME

Bu çalışmada farklı ebatlarda seçilen profillerin 8-12 bar basınçlar altında 2 kat mesafede (120-140mm) 20 saniye HS-KT ısıt işlemleri uygulanan ve mevcutta bulunan HEA120 ısıt işlem uygulanmayan numunelere kalıntı gerilim ölçümü yapılmıştır. Hızlandırılmış soğutma işlemleri uygulanmış profillerin şekil değiştirme web ve flanş bölgelerinde sırasıyla basma ve çekme gerilmesidir.

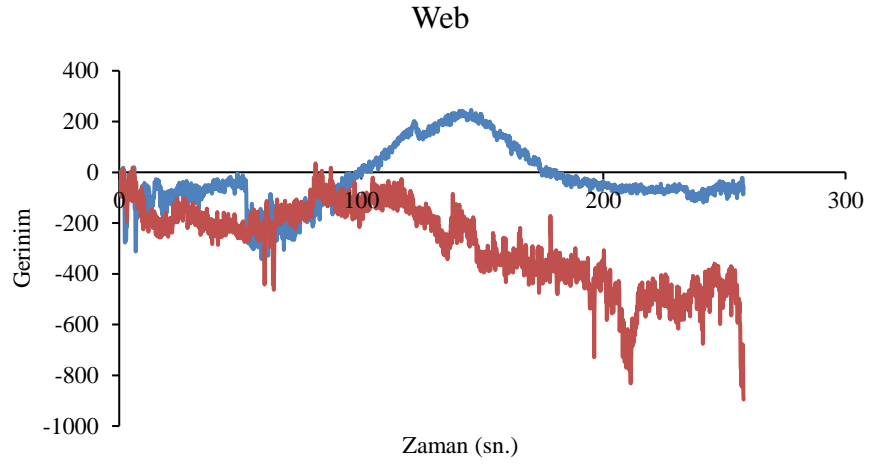
Kalıntı gerilme değerleri, Şekil 4.16 ile Şekil 4.21 arasındaki gerilim verilerine Hooke yasası uygulanarak hesaplanmış ve Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Isıt işlemsiz HEA 120 profilin web bölgesinde kalıntı gerilme -467 MPa (çekme) olarak ölçülürken, flanş bölgesinde ise basma gerilimi 203 MPa'dır. Şekil 4.17’de web bölgesinde soğuma hızı arttıkça basma kalıntı gerilme değerinin eksi yönde arttığı tespit edilmiştir. Flanş bölgesinde de benzer şekilde fakat çekme yönündeki kalıntı gerilmenin soğuma hızı ile arttığı görülmüştür.

HS-KT HEA/HEB 120/140 profillerin web bölgelerinde en yüksek soğutma hızı (92°C/sn.) (-) 467 MPa’lık basma kalıntı gerilme değeri ile HEA 120 2K 8B 20 ‘de elde edilmiştir. HS-KT HEA/HEB 120/140 profillerin flanş bölgelerinde ise kalıntı çekme gerilmeleri en düşük soğutma hızında (6°C/sn.) (+) 203 MPa çekme gerilmesi tespit edilmiştir. Bu sonuç HEA ve HEB 120/140 ebatlı profillerin sahip olduğu maksimum kalıntı çekme gerilmesi değeri yaklaşık 300 MPa’ın altında olduğu görülmüştür.

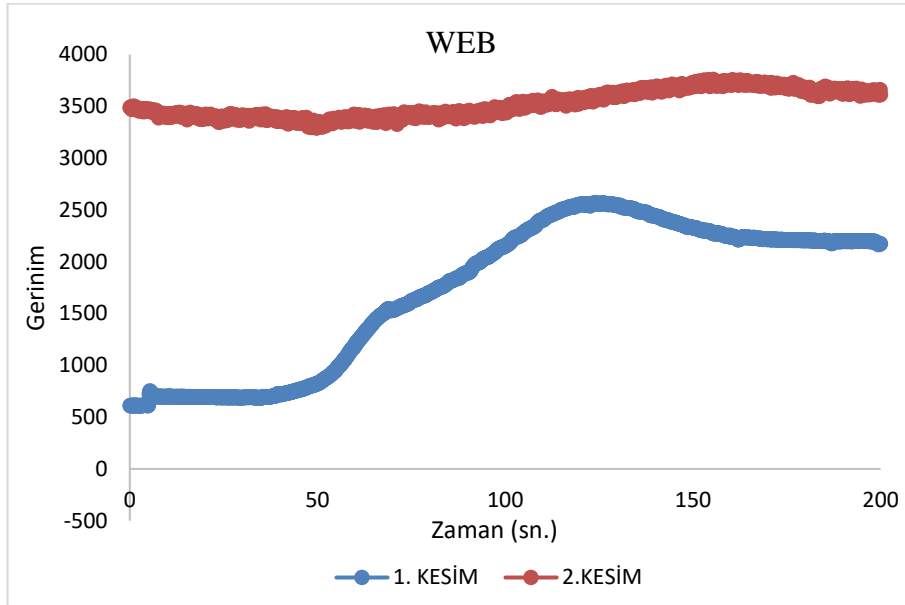
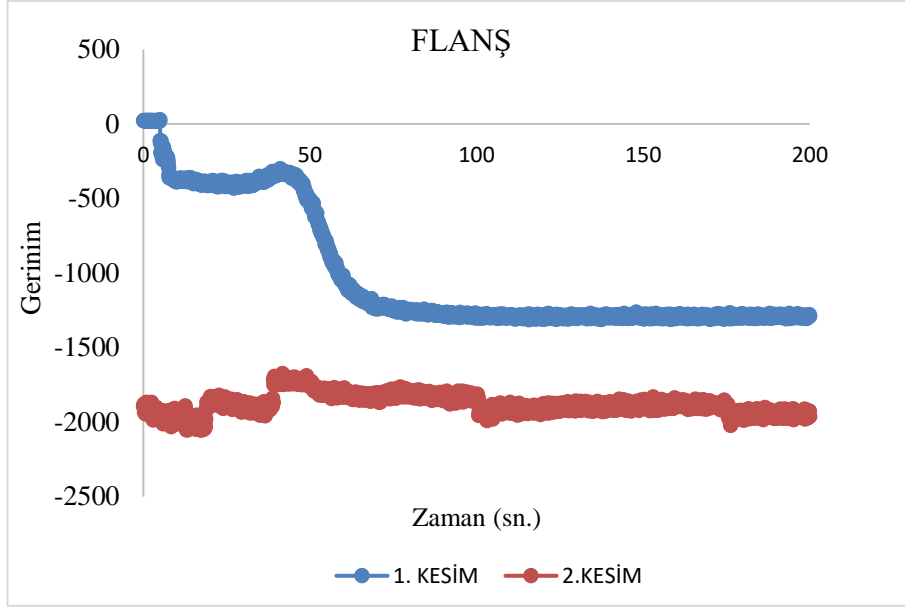


— 1 Kesim — 2 Kesim

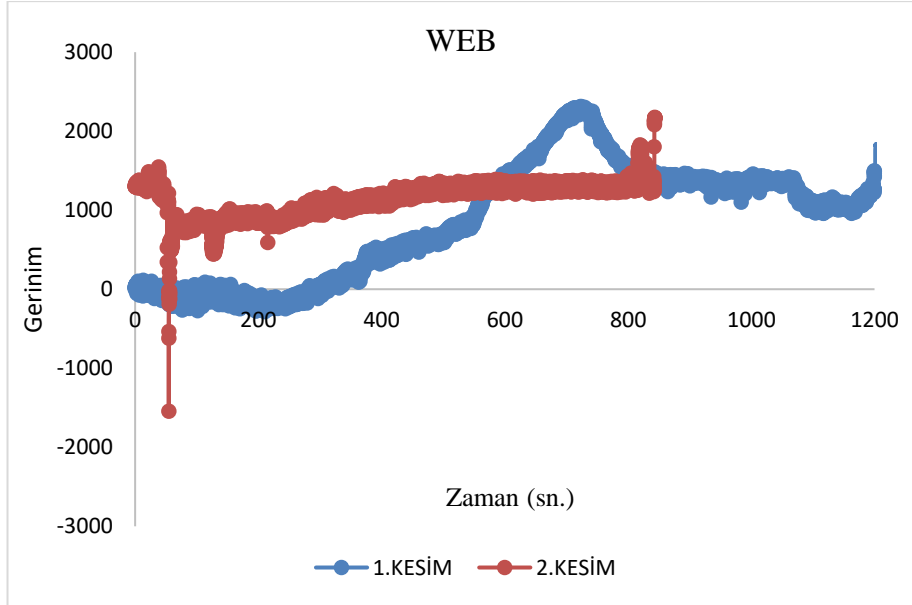
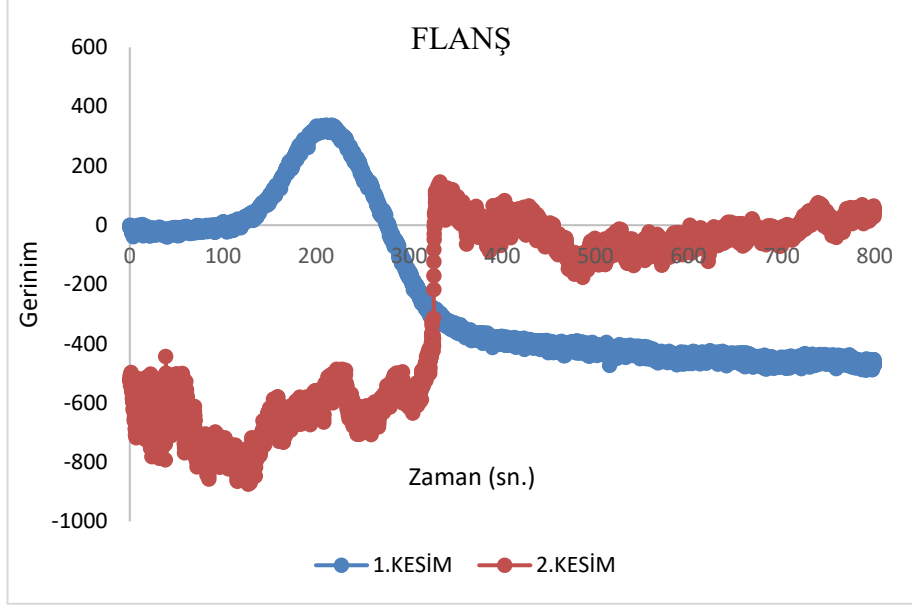


— 1 Kesim — 2 Kesim

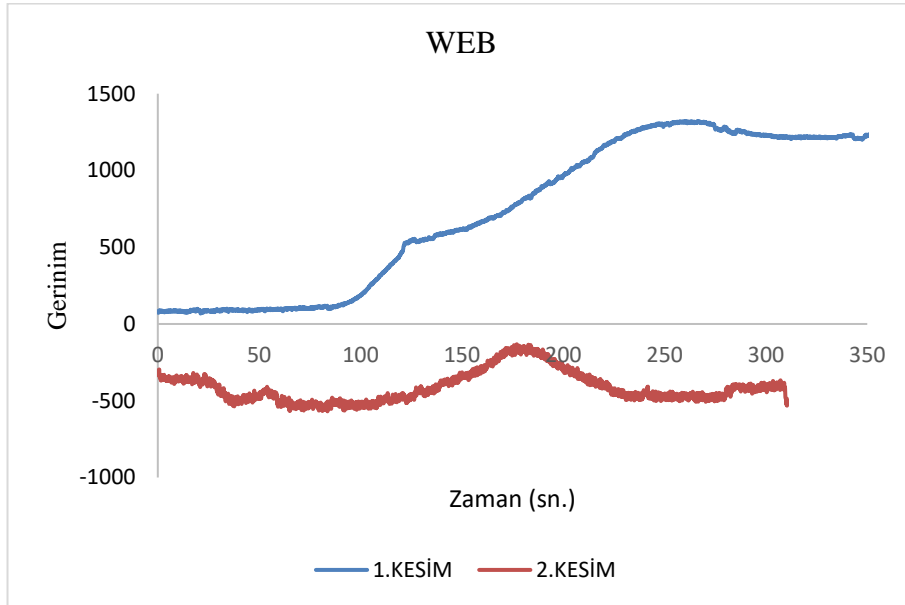
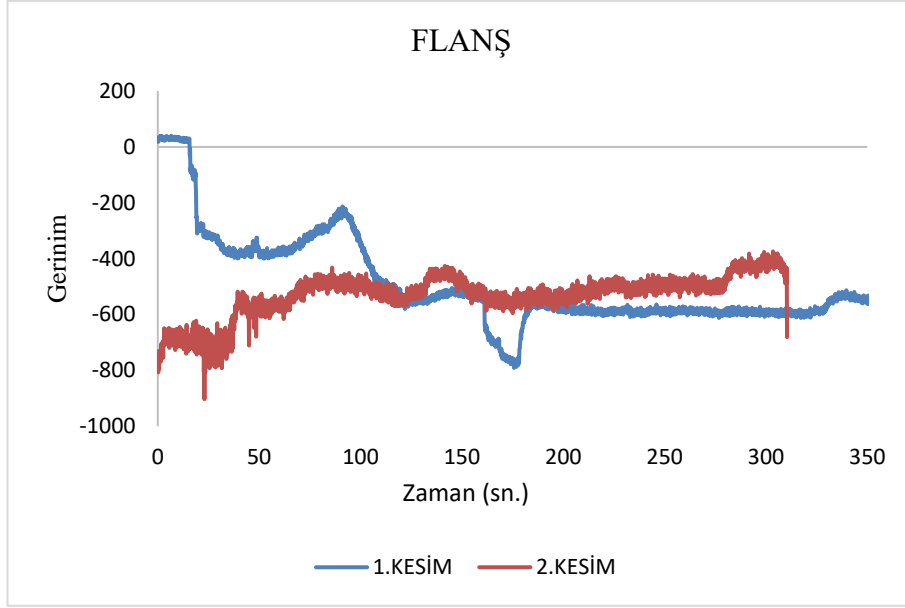
Şekil 4.16. HEA 120 HS-KT ısıtılma işlemi uygulanmamış profilin flanş ve web bölgesinden alınan kalıntı gerilim ölçüm grafiği.



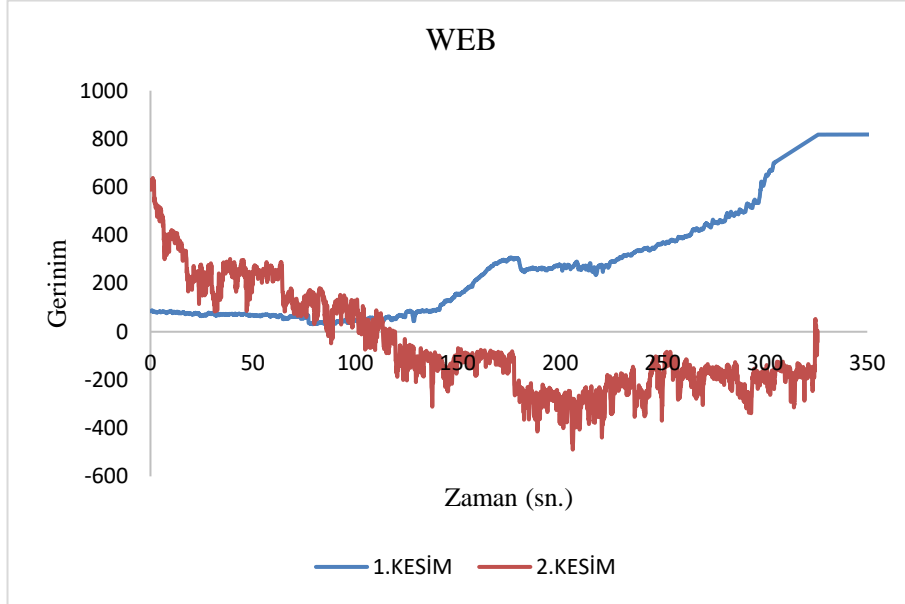
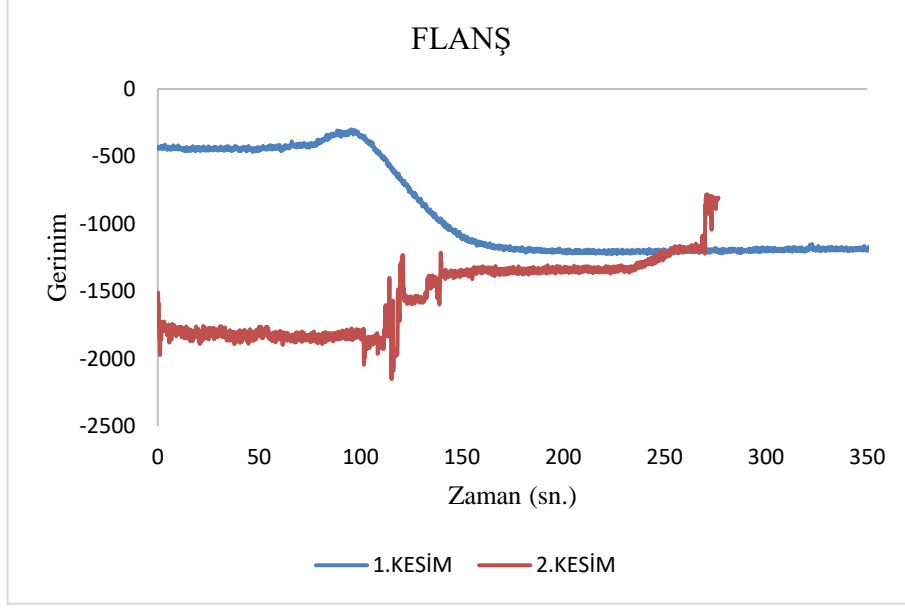
Şekil 4.17. HEA 120 8BAR 2KAT 20SN profilin flanş ve web bölgesinden alınan kalıntı gerilim ölçüm grafiği.



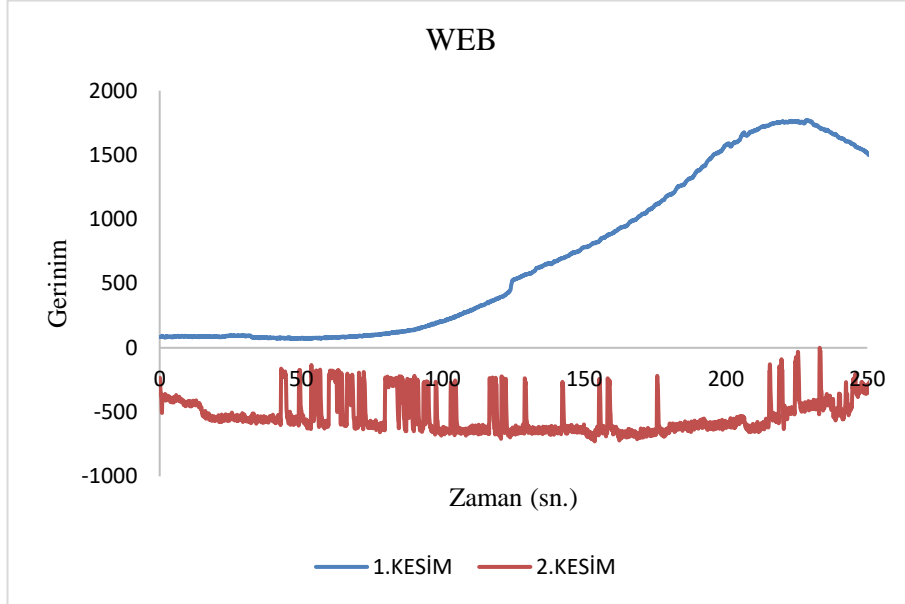
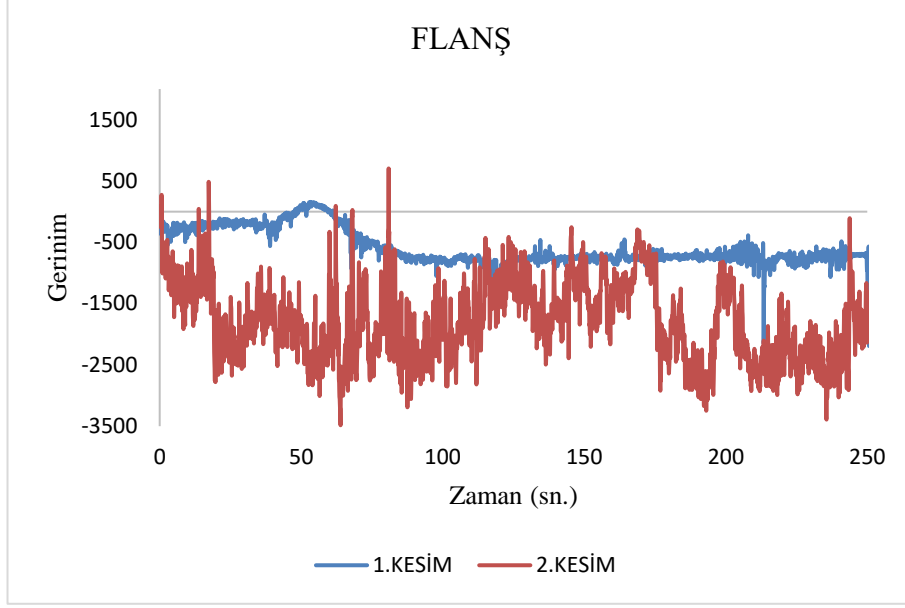
Şekil 4.18. HEA 140 8BAR 2KAT 20SN profilin flanş ve web bölgesinden alınan kalıntı gerilim ölçüm grafiği.



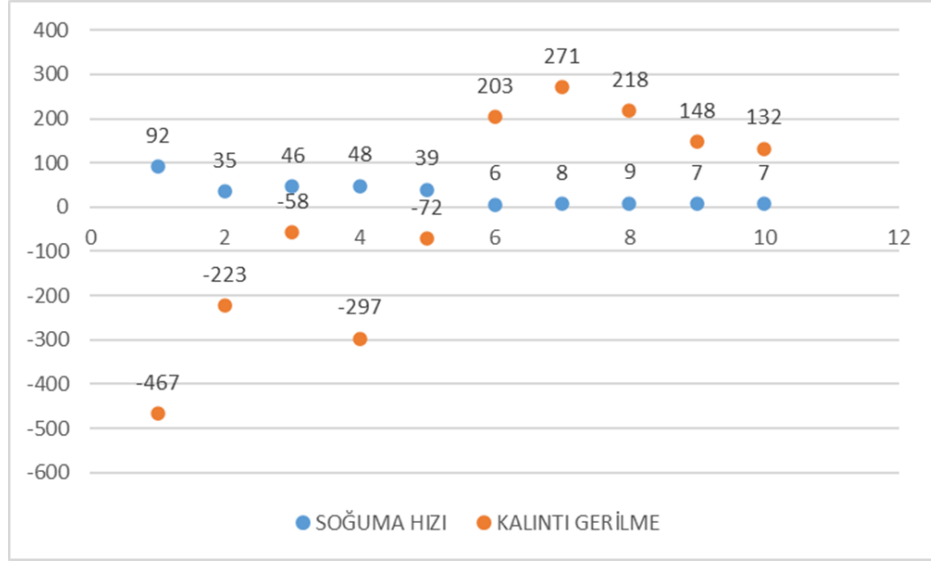
Şekil 4.19. HEA 140 12BAR 2KAT 20SN profilin flanş ve web bölgesinden alınan kalıntı gerilim ölçüm grafiği.



Şekil 4.20. HEB 120 8BAR 2KAT 20SN profilin flanş ve web bölgesinden alınan kalıntı gerilim ölçüm grafiği.



Şekil 4.21. HEB 140 8BAR 2KAT 20SN profilin flanş ve web bölgesinden alınan kalıntı gerilim ölçüm grafiği.



Şekil 4.22. Profillerin sırasıyla, soğuma hızı-kalıntı gerilim grafiği.

Çizelge 4.2. Profillerin web ve flanş bölgelerindeki kalıntı gerilme sonuçları.

PROFİLLER	KESİT	Toplam Yüzey izdüşüm Alanı (x1000) (mm ²)	Nozul Sayısı	Basınç (Bar)	Plakaların web ve uzaklığı (mm)	Süre (s)	BSS (°C)	Soğuma Hızı (°C/s)	Kalıntı Gerilme (Mpa)	Gerilme Tipi
HEA 120 2K 8 B 20S	W	58,5	16	8	140	20	60	92	-467	ÇEKME
HEA 140 2K 8B 20S	W	68,25	16	8	140	20	89	35	-223	ÇEKME
HEA 1402K 12B 20S	W	68,25	16	12	140	20	84	46	-58	ÇEKME
HEB 120 2K 8B 20S	W	60	16	8	140	20	71	48	-297	ÇEKME
HEB 140 2K 8B 20S	W	70	16	8	140	20	89	39	-72	ÇEKME
HEA 120 2K 8 B 20S	F	58,5	16	8	140	20	675	6	203	BASMA
HEA 140 2K 8B 20S	F	68,25	16	8	140	20	405	8	271	BASMA
HEA 1402K 12B 20S	F	68,25	16	12	140	20	674	9	218	BASMA
HEB 120 2K 8B 20S	F	60	16	8	140	20	673	7	148	BASMA
HEB 140 2K 8B 20S	F	70	16	8	140	20	573	7	132	BASMA

BÖLÜM 5

GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, HS-KT ısıtma işlemi HEA 120/140 ve HEB 120/140 profillere farklı hava basıncı değerlerinde 8 ve 12 bar, aynı soğutma süresinde 20 sn. şeklinde uygulanmıştır. Farklı ebatlardaki H tipi çelik konstrüksiyon profillerde HS-KT ısıtma işleminin mekanik özelliklere etkisinin araştırıldığı bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır;

1. HS-KT HEA 120 kesitinin web bölgesinde 2 kat 8 bar 20 sn. için en yüksek soğutma hızı 92°C/sn. olarak elde edilmiştir. En düşük 6°C/sn. soğutma hızı, 2 kat 8 bar 20 sn. HS-KT uygulanmış profillerin flanş bölgelerinde elde edilmiştir. HS-KT işlemi sırasında web bölgesindeki kalınlık azaldıkça soğutma hızının arttığı, aynı zamanda basıncın artırıldığında da soğutma hızının arttığı tespit edilmiştir. Yüksek soğutma hızlarında BSS'nin 400°C'ye kadar düştüğü, profil kalınlığı azaldıkça BSS'nin 675°C'ye kadar yükseldiği gözlenmiştir. HS-KT HEA 120/140 profilin et kalınlığı HS-KT HEB 120/140 profillere göre daha ince olduğu için web, web+flanş ve flanş bölgelerinde daha yüksek soğutma hızları ölçülmüştür.
2. İşlem görmemiş HEA 120/140 ve HEB 120/140 profillerinde Ferrit+Perlit mikroyapısı gözlenmiştir. HS-KT HEA 120 profilin web bölgesinde, 92°C/sn. ve 46°C/sn.'lik soğutma hızları aralığında alt beynit ve/veya az miktarda martensit fazlarına rastlanmıştır. Soğutma hızı 40°C/sn.'nin altına düşürüldüğünde, üst beynit ve/veya sorbit fazlarının yanı sıra iğnemsiz ferrit ve/veya poligonal ferrit mikroyapısı görülmüştür.

3. En yüksek soğutma hızı $92^{\circ}\text{C}/\text{sn.}$ olan web bölgesindeki sertlik değeri HEA 120 için 191 HB ölçülmüştür. Profillerin web bölgesinde elde edilen sertlik değerlerinin web+flanş ve flanş bölgelerine göre daha yüksek olduğu, soğuma hızının düştüğü flanş bölgesindeki sertlik değerlerinin ısı işlemsiz malzemenin sertlik değerlerine yakın olduğu görülmüştür. Bu sonuçlara göre, aynı soğutma parametreleri koşulları için daha ince et kalınlıkları nedeniyle HEA 120/140 ebatlı profillerin sertlik artışı HEB 120/140 ebatlı profillerden daha fazladır. Buna ek olarak aynı et kalınlığına sahip HEA 140 profile uygulanan farklı basınç altında su vermede ise yine basıncın artırıldığında soğuma hızı artacağından sertliklerinden artacağı görülmüştür.
4. HS-KT HEA 120/140 profilin web bölgesinde $92^{\circ}\text{C}/\text{sn.}$ 'lik bir soğutma hızında (-) 467 MPa'lık maksimum kalıntı çekme gerilimi ve HS-KT HEA 120/140 profilin flanş bölgesinde 271 MPa'lık kalıntı basma gerilimi $8^{\circ}\text{C}/\text{sn.}$ soğutma hızı için ölçülmüştür. HS-KT HEB 120/140 profilin web bölgesinde en yüksek soğutma hızında ($48^{\circ}\text{C}/\text{sn.}$) (-) 297 MPa'lık çekme kalıntı gerilmesi ölçülürken HEB 140 profilin flanş bölgesinde (yaklaşık $7^{\circ}\text{C}/\text{sn.}$) 148 MPa'lık basma kalıntı gerilmesi ölçülmüştür.

KAYNAKLAR

1. Wusatowski, Z., “Fundamentals of Rolling”, **Pergamon Press**, US (1969).24
2. İnceayan, T. ve Koçali, İ., “Haddeleme Tekniğinin Esasları-I”, **Türkiye Demir Çelik İşletmeleri Eğitim Yayınları**, Ankara (1989).25
3. The University of Sheffield, Case Studies, “Technology of Flat Rolling”, **The University of Sheffield, Case Studies**, US (2003).26
4. Mc Lenard, J. G., Pietrzyk, M. and Cser L., “Mathematical and Physical Simulation of the Properties of Hot Rolled Products”, **Elsevier**, ISBN: 0 08 042701 4, (1999).27
5. İnternet: Metalürjik, “Metalürji ve Malzeme Platformu”, <http://www.metalurjik.net/genel/soguk-haddeleme-islemi.html> (2014).
6. Özakin B., “Temper haddelemede mekanik özellik yüzey pürüzlendirme ilişkisinin incelenmesi”, Doktora Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Samsun, (2021).14
7. İnternet: Bartın Üniversitesi, “58. Hafta Metallere Plastik Şekil Verme”, <https://cdn.bartın.edu.tr/metalurji/d7ee7cd9-f063-4669-8e1c-393503ed6ffb/metallereplastiksekilvermebolum58.hafta.pdf> (2022). 15
8. İnternet: https://sections.arcelormittal.com/repository2/Sections/1_HISTAR_High%20Strength/5_01_24_Histar_ASTM_A913_seismic_ncee_en.pdf.
9. Weber, L., “Histar high performance hot-rolled beams”, **Advanced Materials for Construction of Bridges, Buildings, and Other Structures III**, Switzerland (2003).
10. Fujibayashi, A., Omata, K., “JFE Steel’s advanced manufacturing technologies for high performance steel plates”, **JFE Technical Report**, 5, 10-15 (2005).
11. Bo, Z., Yong, S., Tan, L., Yang, H.X., Cao, W.Q., Bao, Y.Z., “Research on a new process of the non-quenched and tempered steel with high strength and high toughness”, **Physics Procedia**, 50, 25-31 (2013).

12. Hoffmann, J., Donnay, B., “TMCP applications in sections, bars and rails”, *Profilarbed Research*, Luxembourg (2004).
13. Kong, X., Lan, L., “Optimization of mechanical properties of low carbon bainitic steel using TMCP and accelerated cooling”, *Procedia Engineering* 81, 114-119 (2014).
14. Tang, S., Liu, Z.Y., Wang, G.D., Misra, R.D.K., “Microstructural evolution and mechanical properties of high strength microalloyed steels: Ultra Fast Cooling (UFC) versus Accelerated Cooling (ACC)”, *Materials Science and Engineering A*, 580, 257-265 (2013).
15. İnternet: “Arcelor Mittal Ürün Kataloğu”, https://sections.arcelormittal.com/repository2/Sections/5_3_1_HISTAR_web.pdf (2022).
16. Koo, B.S., “Longitudinal bending behaviors of hot-rolled H-beams by quenching and self-tempering”, *Engineering Failure Analysis*, 133, 106009 (2022).
17. Harman, M., “Yüksek mukavemetli çeliklerin farklı kaynak yöntemleri kullanılarak kaynak edilebilirliğinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, (2019).
18. Benli, S., "Kaynaklı parçalarda oluşan artık gerilmelerin incelenmesi", **İzmir**, (2004).
19. Yelbay, H. İ., “Tahribatsız yöntemlerle kalıntı gerilim ölçümleri gelişmeler”, **3rd International Non-Destructive Testing Symposium and Exhibition**, Istanbul Turkey, (2008).
20. İnternet: “Çeliklerin Kalıntı Gerilmesi”, <https://celik.photo.blog/kalinti-gerilmesi/> (2023).
21. İnternet: <https://www.researchgate.net/post/How-to-decide-holding-time-for-any-heat-treatment> (2021).
22. İnternet: <https://www.voestalpine.com/highperformancemetals/international/en/service/heat-treatment/> (2021).
23. Koo, B.S., “A theoretical approach for estimating the effect of water-jet quenching on low-carbon steel beams”, *Scientific Reports*, 11, 15401 (2021).
24. Krauss, G., Thompson, S.W., “Ferritic Microstructures in Continuously Cooled Low- and Ultralow-carbon Steels”, *ISIJ International*, 35, 937-945 (1995).

25. Rodrigues, P.C.M., Pereloma, E.V., Santos, D.B., “Mechanical properties of an HSLA bainitic steel subjected to controlled rolling with accelerated cooling”, *Materials Science and Engineering A*, 283 (8), 136-143 (2000).

ÖZGEÇMİŞ

Onur YAĞIZ, ilk, orta ve lise eğitimini Zonguldak Ereğli’de tamamlamıştır. 2021 yılında Karabük Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü’nden mezun olmuştur. Aynı yıl Karabük Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü’nde yüksek lisans eğitimine başlamıştır. Ocak 2023 tarihinde Refiz Refrakter firmasında Saha Mühendisi ve Şantiye Şefi görevlerinde bulunmuştur. Nisan 2023 tarihinde Uyar Çelik firmasında Kalite Kontrol Mühendisi görevine başlamış ve halen görevine devam etmektedir.